İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ PLANLAMA PROBLEMİ VE PROBLEM İÇİN WEB TABANLI COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arslan TAŞKIN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ PLANLAMA PROBLEMİ VE PROBLEM İÇİN WEB TABANLI COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arslan TAŞKIN
(507081101)

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Murat BASKAK

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507081101 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Arslan TAŞKIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ARAÇ PLANLAMA PROBLEMİ VE PROBLEM İÇİN WEB TABANLI COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TASARIMI"** başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı:	**Y. Doç. Dr. Murat BASKAK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Eş danışman:	**Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ** Maltepe Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri:	**Prof. Dr. Y. İlker TOPÇU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Hür Bersam BOLAT İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi: **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi: **23 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen danışman hocalarım sayın Prof.Dr. Mehmet TANYAŞ ve sayın Y.Doç.Dr. Murat BASKAK'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum konularda bilgi ve birikimlerini paylaşan başta sayın Gönül KARAOĞLU olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2011

Arslan Taşkın
Matematik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ . . . . . **v**
İÇİNDEKİLER . . . . . **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ . . . . . **ix**
ŞEKİL LİSTESİ . . . . . **xi**
ÖZET . . . . . **xiii**
SUMMARY . . . . . **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. LOJİSTİK VE TAŞIMACILIK YÖNETİMİ **3**
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **13**
3.1. Sınıflandırma Çalışmaları 13
3.2. Veri Türü Ve Kısıtlarla İlgili Çalışmalar 14
3.3. Model Ve Çözüm Yöntemleri 17
3.4. Karar Destek Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri 18
4. ARAÇ PLANLAMA PROBLEMİ **21**
4.1. Problemin Tanımı Ve Modellenmesi 26
4.2. Macar Algoritması 38
4.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Google Maps 41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER **59**
5.1. Geliştirilen Yöntemin Diğer Yöntemlere Göre Üstün Yanları 59
5.2. İleriye Dönük Araştırma Konuları 60
KAYNAKLAR **61**
EKLER **65**
ÖZGEÇMİŞ **75**

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Taşıma modları maliyetleri. 11
Çizelge 4.1 Araçlarla ilgili değişken değerleri. 36
Çizelge 4.2 Taleplerle ilgili değişken değerleri. 37
Çizelge 4.3 GAMS ile 20-20 Problem Çözümü. 39
Çizelge 4.4 Model test sonuçları. 39
Çizelge 4.5 Laon çevresinde yük bulunma olasılığı olan bölgeler. 51
Çizelge 4.6 Aracın boş bekleme ve ilgili bölgeye gönderilme maliyetleri. . . . 53
Çizelge 4.7 Problemin çözümü. 53
Çizelge 4.8 CBS ile 20-20 problem çözümü. 56
Çizelge 4.9 Model test sonuçları. 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Lardner yasası. 6
Şekil 2.2 Mesafe ve ölçek ekonomisi. 7
Şekil 2.3 Farklı taşıma modları. 8
Şekil 4.1 Taşımacılıkta kullanılan araç tipleri. 21
Şekil 4.2 Düğümler, seçmeli ve zorunlu kenarlar. 27
Şekil 4.3 Planlama çizelgesi. 29
Şekil 4.4 Kullanılan rotalar. 32
Şekil 4.5 İletişim ve konum bilgisi için kullanılan cihaz. 32
Şekil 4.6 Fransa'nın metropolitan bölgeleri. 33
Şekil 4.7 Google Maps Anasayfa. 42
Şekil 4.8 Veri akışı. 43
Şekil 4.9 HTML head ve body bölümleri. 46
Şekil 4.10 CBS için hazırlanan arayüz. 47
Şekil 4.11 İşaretcinin sürüklenmesi. 47
Şekil 4.12 Tablolar üzerinde veri güncellemesi. 48
Şekil 4.13 Haritaya yerleştirilen araçlar ve talepler. 54
Şekil 4.14 CBS üzerinde araçlar tablosu. 54
Şekil 4.15 CBS üzerinde talepler tablosu. 55
Şekil 4.16 Aktif hesaplama tuşu. 55
Şekil 4.17 Planlama sonucu oluşturulan özet tablo. 55
Şekil 4.18 Harita üzerinde planlama sonucu. 56

ARAÇ PLANLAMA PROBLEMİ VE PROBLEM İÇİN WEB TABANLI COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TASARIMI

ÖZET

Araç Planlama ve Rotalama Problemleri (APP ve ARP) en etkin yöneylem araştırma alanlarının başında gelmektedir. 1958 yılında Dantzig ve Ramser'in Araç Sevkiyat Problemi ile başlayan araştırmalar bugün bu problemden türemiş çeşitli problem sınıflarında devam etmektedir. Bu problemlerin en fazla dikkat çekenleri arasında Geri Dönüşlü Araç Rotalama Problemi yer almaktadır. Bu çalışma Geri Dönüşlü Araç Planlama Problemlerinin sadece geri dönüşü dikkate alınan türünü incelemektedir. Amaç en düşük maliyete sahip araç-talep(ler) eşleşmesini sağlamaktır. İnternet dünyasında yaşanan gelişmeler coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) yaygınlaşmasını sağlamıştır. CBS'ler ile birlikte APP ve ARP'lerin ele alınış şekilleri de değişmiştir. CBS'ler ile birlikte daha geniş bir coğrafi bilgi veritabanına erişim sağlanabilmektedir. Ayrıca problemlerin ve çözümlerin haritalar üzerinde görselleştirilmesi de mümkün olmuştur. Karar destek sistemleri (KDS) ile CBS'lerin ortak çalışması sonucu taşımacılıkta araç takibi, büyük filoların yönetilmesi ya da daha geniş sonuçları olan kararların merkezileştirilmesi mümkün olmuştur. Hızlı ulaşılan veri ile hızlı çözüm üreten algoritmalar düşük maliyetli planlamalar ile rotalamaların önünü açmıştır.

Bu çalışmada amaç uluslararası karayolu taşımacılığında karşılaşılan bir araç planlama problemi türü için en uygun modeli kurmak, modeli uygun algoritmalar ile test etmek ve çözüm ararken geliştirilen modeli kullanan bir web tabanlı karar destek sistemi oluşturmaktadır. Çözüm oluşturulurken araçların teknik özellikleri ve kapasiteleri ile taleplerin zaman pencerelerine dair kısıtlarının yanı sıra sürücülerin sürüş ve çalışma sürelerine dair yasalarla belirlenen kısıtlamalar da dikkate alınmıştır. Ayrıca herhangi bir taleple eşleştirilmeyen araçlar için, araçların konumlarına dayalı bir maliyet modeli geliştirilmiştir. Böylelikle herhangi bir taleple eşleştirilmeyen araçlar için de en uygun bekleme konumları tespit edilebilmektedir. Maliyetler araçların katedeceği mesafe ve gerçekleştirilen faaliyetlerin alacağı süre dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Birim mesafe ve birim süre maliyetlerinin önceden belli olduğu varsayılmıştır. Bir araç-talep eşleşmesinde eğer aracın hizmeti geç kalarak gerçekleştirmesi söz konusu oluyorsa talebin geç hizmet edilmesi durumunda dikkate alınması gereken ceza fonksiyonu ile geç kalma maliyeti hesaplanmaktadır. Oluşturulan model öncelikle The General Algebraic Modeling System (GAMS - Genel Cebirsel Modelleme Sistemi) ile test edilmiş, ardından Macar Algoritması ile çözüm arayan bir program geliştirilmiştir. Bu program bir karar destek sistemi olarak kullanılacaktır. Karar destek sistemi Google Maps teknolojisi ile entegre bir sistem olarak geliştirilmiştir. Üretilen sonuçlar kullanıcı dostu bir arayüz kullanılarak görselleştirilebilmektedir.

VEHICLE PLANNING PROBLEM AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM DESIGN FOR THE PROBLEM

SUMMARY

The most popular problems in operations research literature are Vehicle Routing and Scheduling Problems (VRSP). Since the paper "Truck Dispatching Problem" by Dantzig and Ramser in 1958, there has been massive amount of articles published about the topic. The main problem is matching vehicles with the customers with a least cost manner. The cost here could be expressed differently from problem to problem. The most common cost component is the oil being consumed. There are other components of cost like the time spent, the service quality, handling costs...etc. Choosing the most appropriate cost function depends on the activity being considered.

The area itself has popular sub problems. "The Pickup and Delivery Problems", "The Vehicle Routing Problem with Time Windows" and "The Vehicle Routing Problems with Backhauls" are among the many. There are several surveys classifying these problems but since the area is so wide, there is yet no generally accepted typography covering all the problems. During the last decades several articles are published mainly covering the time windows and capacity constraints. There are also papers about driving hours restrictions of drivers or other legal restrictions. The solution approaches are covering a wide range as well. Besides exact algorithms, there are many algorithms adapted or generated to solve the problems. The most popular of them are Tabu Search, Column Generation, Branch and Cut and Swarm algorithms. The international trade in Turkey to European countries could be examined with one of the many approaches. The problem could be expressed as the popular problems mentioned here, or as a combination of these problems. The transportation activity itself will determine the model.

The transportation is moving the goods from where they are produced to where they are needed. The transportation activities are generally monitored and managed from central offices. The system including all the components for managing the transportation activities is called Transportation Management System. Transportation Management Systems deals with decisions at different decision levels. The three levels of decisions are the strategic level, where strategic decisions concerning the most general issues are, the tactical level, where middle level decisions are and the operation level, where the decisions about everyday activities are handled. The system may include computerized tools as well. The most common used tools are Decision Support Systems and Geographic Information Systems. To construct a well suited Transportation Management System for the activity at hand, all these systems has to be integrated successfully. Decision Support Systems can be classified with subject to many aspects like purpose, users, platform...etc. The generated results with the decision support systems are used in order to help the decision maker to give most suitable decisions. The geographic information systems are used to store, to get, to use and/or to monitor the geographical data where needed. The development of

internet technologies has raised the need to reach geographical data. There are lots of researches where spatial data are used. Some companies has seen the interest in the area and developed geographical information systems or tools that are used to develop the geographical information systems. Among these companies Google, Microsoft, Yahoo are the most popular ones.

The main idea behind this dissertation is the development of a module combining both geographic information system and decision support system for the transportation management system already being used by a logistics provider in Turkey. The company owns a truck fleet. Besides, private fleets are used whenever needed. Among the many operations, the one being considered is the freight transportation between Turkey and Western Europe. The vehicles load the goods and complete the customs procedures. Then they travel to the delivery location. After arrival they clear the customs and unload the goods. A vehicle needs to have permissions before using the roads of a third country to pass through. The permissions previously obtained limit the number of route alternatives. The total travel time is between ten to twenty days. To construct stable schedules, the total transportation activity is divided into two different problems. The first problem deals with the pickup scheduling while the second problem deals with the scheduling of backhauls. In this dissertation only the backhauls are considered with the time windows, capacity and drivers' working hours limitations constraints.

In the generated model the cost function consists of the cost of matched vehicle-customer pairs which is determined by the sum of the multiplication of unit distance cost with distance covered and the multiplication of unit time consumption cost with the time spent for the activity, the cost of delayed services which is determined by a penalty function of delayed time known for all customers, the cost of private fleet usage and the cost of the vehicles not scheduled for the current planning horizon. There are several constraints including the constraint that states there has to be one and only one vehicle for the customer, the constraint that states there has to be at most one customer matched for each vehicle, the capacity constraints and the constraint that states the specification of the vehicles must match with the demanded specifications by the customers. All data required, to solve the problem, is not known in advance until a reasonable planning horizon is selected. If the duration of the planning horizon is too long, then there will be several stochastic data that needs special attention. For example if a long planning horizon is selected then since the travel duration is too long, to estimate the arrival times to the delivery location will be much harder. Even the results will be generated for the most probable cases, if an unexpected event occurs, a new problem has to be created and solved including new data. This could be a choice, but on the other hand with a smaller planning horizon, it's much easier to create robust schedules since the data will be deterministic after some point of time. The disadvantage of smaller planning horizon is the lack of ability to predict future needs in order to take action in time. The model tested with The General Algebraic Modeling System (GAMS) and the results are generated in significantly short durations. Since GAMS is inefficient to use for several reasons, a more user friendly approach is searched. Because of the geographical interface support and the inclusion of more precise geographical data, Google Maps is chosen for the purposes mentioned. Google Maps provides the geographical data with an Application User Interface (API) developed for programmers in need of geographical information. With

callback functions sent to the Google Maps servers, the client can get the requested data as a result of the request. The returned data could also be used on maps styled by the programmers as well. To solve the problem, an appropriate algorithm has to be embedded in the new system. The problem considered here is a Generalized Assignment Problem which deals with matching the sources with the demands. There several exact algorithms used to solve Generalized Assignment Problems. The Hungarian Algorithm is one of the most famous and is used to solve the model. The algorithm is coded using Javascript scripting language. For the dynamic data Google Maps used and for the static data Javascript Object Notation (JSON) is chosen because of the ease of use with Javascript language. The developed decision support system integrated with the geographical information system provided by Google Maps, is a web-based system which works without dependence of any platform. Any device supporting a browser could run the application.

The test problems are generated randomly for different problem sizes. The decision support system uses more time than GAMS to produce solutions since GAMS directly uses rounded distances from a limited distance matrix, while the geographic information system produces the distances between the exact locations of the vehicles and the delivery(if any),pickup and custom locations. This phase takes time depending on the speed of internet connection and the traffic of data transactions at the time of calculation. The algorithm works as fast as the algorithm used by GAMS. The result is the most appropriate matching, considering the constraints of the model.

One of the most important features of the generated model is the construction of the strategy for the remaining vehicles that are not used for service for the current planning horizon. If a vehicle is decided to wait until a suitable activity occurs, the result generates the best location for the vehicle to wait. To find the best location, the model calculates the probabilities of service demands around a reasonable neighborhood of the vehicle's current location. If the sum of the cost of sending the truck to another location and cost of waiting there is less than the cost of waiting at the current location, then the vehicle is sent to new location. With this approach the cost of probable future travels and service delays are avoided. Another important feature is the use of drivers' working hours constraints. The restrictions about derivers' working hours do not affect the short-term transportation activities but has great importance in long-term transportations. A truck may reach to the destination on time but because of running out of working hours, the driver may wait for the next working day or even a weekend may prevent to conclude the activity. Then a big penalty value may be charged to the activity. With the development of better devices to track the drivers' working hours, the restrictions has to be calculated in detail. The increasing number of papers concerning these limitations shows the rising attention.

As a result a new system is generated for the scheduling activities previously handled by experienced office personnel with lack of any measure to compare the results. The system takes into account the specific details the transportation activity contains like the representation of service locations by two points, pickup and customs points. The best output is generated considering not only the cost of vehicle-customer matching but also the cost of unscheduled vehicles. For future researches the work in this dissertation will be a reference point to improve the quality of solutions of long-distance vehicle routing and scheduling problems by use of more stochastic data included in the nature of the problem.

1. GİRİŞ

Taşımacılık bir malın üretildiği ya da doğrudan elde edildiği yerden gereksinim duyulduğu yere ya da bir insanın bulunduğu yerden olmak istediği yere taşınması işlemidir. Ekonomik faaliyetlerin doğumuyla ortaya çıkan kavram, o zamanlardan bugüne insanların yaşam kalitesini belirleyen en önemli etkenlerden birisi olmuştur. Devletler; ülke savunmasını sağlamak ve toplumun refahını artırmak amacıyla taşımacılık altyapısı ve faaliyetlerine büyük önem verirler. Üreticiler daha geniş pazarlara daha ucuz fiyatlarla ulaşmak için, gelişmiş taşımacılık faaliyetlerine gereksinim duyarlar. Taşımacılık; tarih boyunca önemini korumuş, devletlerin kendi sınırları içinde ve ötesinde yatırımlar yapmasına neden olmuş ve ekonomik faaliyetlerde rekabeti etkileyen en belirleyici öge olmuştur.

Taşımacılık modu, taşımanın yapılış şeklini anlatmak için kullanılan bir terimdir. Temelde 6 farklı mod kullanılabilir: Karayolu, denizyolu, havayolu, demiryolu, iç su yolu ve boru hattı. Avrupa Birliği (AB) üyesi 27 ülkede 2008 yılında toplam 2.400.000 milyon ton-kilometre yük taşınmıştır. 2001 yılında bu ülkeler için karayolu taşımacılığı toplamda %74,8 paya sahipken 2008 yılına kadar bu oran düzenli artış göstererek %76,4'e ulaşmıştır [1]. Türkiye'de 2008 yılında yaklaşık 200.000 milyon ton-kilometre yük taşınmıştır. Türkiye'de 2001 yılı için karayolu taşımacılığı oranı %90 iken, 2008 yılında %91 olarak gerçekleşmiştir [2]. Buradan yola çıkarak gerer AB'de gerekse Türkiye'de karayolu taşımacılığının hem toplamda en yüksek paya sahip olduğu görülür, hem de ilerleyen yıllarda da en önemli taşımacılık modu olarak kalacağı tahmin edilebilir.

Teknolojinin gelişmesi ile artan küresel rekabet, gerek devletler gerekse özel sektör kuruluşları üzerinde maliyetlerin düşürülmesi yönünde baskı yaratır. Maliyetlerin düşürülmesi söz konusu olduğunda ise lojistik maliyetler ve lojistik maliyetlerin çok önemli bir kısmını oluşturan taşımacılık maliyetleri, iyileştirme yapılabilecek faaliyetler olarak dikkati çeker. Taşımacılık faaliyetlerinin maliyetini düşürmek için devletler altyapı yatırımları yaparken, özel sektör otomasyon seviyesini artırarak süreç üzerinde daha fazla kontrol sahibi olmayı amaçlar.

Taşımacılık faaliyeti üzerinde otomasyon, gelişen iki teknoloji ile olanaklı olmuştur. Bunlardan ilki, sürücülerle haberleşmeyi kolaylaştıran, rota oluşturulmasını ve paylaştırılmasını sağlayan ve araçların anlık izlenmesini olanaklı kılan telematik sistemlerdir. Telematik sözcüğü Fransızca kökenli bir sözcük olup,

"telekomünikasyon" ve "informatik" sözcüklerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. İkinci önemli teknoloji Coğrafi Bilgi Sistemleridir (CBS). CBS ile Telematik Sistemlerden elde edilen veri bir harita üzerinde görselleştirilmekte ve coğrafî veritabanı kullanılarak anında hızlı hesapların yapılabilmesini kolaylaştırmaktadır. Gerek Telematik Sistemler, gerekse CBS taşımacılık üzerindeki kontolü sürücülerden alarak merkezî birimlere iletmiştir. Bu sayede zaman ve maliyet kısıtları dikkate alınarak en uygun rotalama ve çizelgeleme çözümlerinin üretilmesi olanaklı olmakta, maliyetlerde ciddi düşüşler sağlanmaktadır.

Bu çalışma, uluslararası karayolu taşımacılığında oluşan maliyetlerin, yukarıda sözedilen teknolojiler sayesinde düşürülmesini sağlayacak bir karar destek sistemi tasarlanması gereksinimi nedeniyle ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasının izleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: 2. bölüm konuyla ilgili literatür araştırmasına ayrılmış, 3. bölümde eldeki problem tanımlanmış, modellenmiş ve CBS tabanlı karar destek sistemi tasarlanmış ve 4. bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

2. LOJİSTİK VE TAŞIMACILIK YÖNETİMİ

Tanyaş [3] lojistiği "Lojistik malzemeleri ihtiyaç duyulduğu yerde bulundurma işidir." şeklinde tanımlar. Taşımacılık bir ürünün ya da kişinin talep edilen noktaya taşınması faaliyetidir. Taşımacılık yönetimi ise hizmet ya da ürün sunularak gerçekleştirilen talepler için, gerekli insan ya da ürün taşımalarının ve bu taşımalarla ilgili tüm faaliyetlerin yönetimidir.

Taşımacılık yönetimi, taşımacılıkta kullanılan her türlü altyapı, bilgi-işlem teknolojileri, araç-gereç ve sürecin yönetilmesini kapsar. Bu yönetim, farklı sorumluluk düzeylerinde ele alınabilir. Taşımayı gerçekleştiren tek bireyden, ülkelerin üyesi olduğu organizasyonlara kadar bu seviyeler değişebilir. İnsanî yardımın söz konusu olduğu bir ilaç lojistiği projesi, Birleşmiş Milletler altında faaliyet gösteren Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) yönetiminde birçok ülkenin katılımıyla sürdülebilir, İstanbul Boğazı üzerinde yapılacak bir köprü yatırımı, Türkiye Cumhuriyeti Devleti tarafından finanse edilebilir ya da hangi güzergâhı kullanacağına bir sürücü kendisi karar verebilir. Tüm bu kararlar bir taşımacılık sistemi içerisinde yönetilirse, maliyetler ve gelirler dengesi, gelirler lehine kayar. Bu nedenle, sistemi yöneten kim olursa olsun, kararların temel taşımacılık yönetimi çerçevesinde alınması oldukça önemlidir.

Akıllı taşımacılık sistemlerinin taşıması gereken temel özellikleri Ghosh [4] şöyle sıralar:

1. **Otomatik hesaplama:** Taşımacılık sistemlerinde karar verme ve faaliyet sürelerinin hesaplanması işlemleri bilgisayarlar tarafından yapılmalıdır.

2. **Esneklik talebi ve seçim özgürlüğü:** Gelişmiş taşımacılık sistemlerinde müşteriler daha esnek, daha kişiye özel hizmetler beklemektedir.

3. **Daha tam, kesin ve güncel bilgi talebi:** Gecikme, tüm taşıma sistemlerinde esas sorunlardan biridir. Olabildiğince gecikmelerin önüne geçilebilmelidir.

4. **Taşıma ağların temel bir özelliği:** Taşıma faaliyetini gerçekleştiren araçlara hesaplama kabiliyeti verilerek, merkezî bir birimden yönetme gereksinimi ortadan kaldırılabilir.

5. **Kontrol, eşgüdüm ve kaynak yönetimi için ayrık, eşzamanlı olmayan algoritmaların tasarımı:** Taşıma sistemleri birimleri çoğunlukla dağınık hâlde

ve birbirini ilgilendirmeyen hizmetler gerçekleştirdikleri için kontrol, eşgüdüm ve kaynak paylaşımıyla ilgili eşzamanlı olmayan, etkileşime girdiklerinde çözüm üretebilecek algoritmalar geliştirilmelidir.

Taşımacılık sistemleri şirketler içinde farklı karar düzeyleri oluşmasını gerektirirler. Bu karar düzeyleri kapsamlarının genişliğine göre sıralanırsa stratejik, taktik ve operasyonel düzeylerdir.

- Stratejik Düzey: Stratejik düzeyde alınan kararlar, en uzun vadeli ve geniş etki alanına sahip kararlardır. Bir taşıma projesinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceği, araç filosunun büyüklüğü ya da taşımacılık yapılacak bölgelerin belirlenmesi gibi kararlar genelde bu düzeyde alınır ve uzun yıllara yayılmış sonuçlar doğururlar. Stratejik kararlar, şirketin üst yönetimi tarafından alınırlar.

- Taktik Düzey: Taktik düzeyde alınan kararlar stratejik düzeye göre daha dar bir etki alanına sahiptir. Genelde 6 aylık, 1 ya da 2 yıllık periyotlarda yenilenirler. Karar vericiler orta düzeyde yöneticilerdir. Stratejik düzeyde alınan kararlarla belirlenen araç filosu hacmi, taktik düzeyde alt operasyonlara dağıtılabilir.

- Operasyonel Düzey: Operasyonel düzey taşımacılık sistemlerinde alınan kararların en alt basamağını oluşturur. Planlama ufku denilen bir süre zarfında yinelenirler. Bu kararlar, şirket tarafından belirlenen çalışanlar tarafından alınır. Bir aracın bir sonraki taşımasının nereden olacağı, bu düzeyde alınan kararlara örnek olarak verilebilir.

Tüm bu kararların başarılı bir şekilde alınması için alanında uzman çalışanlara gereksinim duyulur. İşletme lojistiği uzmanları ve lojistik mühendisleri bu noktada devreye girerler. Sutherland [5] bu çalışan ayrımına dikkat çeker. Bu iki gruptan ilki taşımacılık faaliyetleri gereksinimlerinin, sektörün, rekabetin analiz edilmesinden sorumlu iken, ikinci grup taşımacılık faaliyetleri ile ilgili mühendislik hesapları yaparak, ne büyüklükte yatırım yapılması gerektiğini ya da yapılan yatırımın nasıl kullanılması gerektiğini ortaya koyar. Yöneylem çalışmalarında her üç düzeyi de ilgilendiren çalışmalar görülmektedir. Bazı çalışmalar doğru araç filosu büyüklüğünün bulunmasını amaçlarken, bazı çalışmalar günlük rotalama problemi üzerinde yoğunlaşır.

Taşımacılık sistemlerinin en önemli amacı, oluşacak maliyetleri en aza indirmek olmalıdır. Daha genel olarak lojistik maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmalıdır. Gudehus [6] bu maliyetleri, yapılan işlemlere göre şöyle sınıflandırır:

- Taşıma maliyetleri

- Depolama maliyetleri
- Elleçleme maliyetleri
- Aracı maliyetleri

Üretim yapan şirketler için taşımacılık maliyetleri toplam üretim maliyetlerinin %20'sine kadar çıkabilmektedir. Taşıma maliyetleri sabit ve değişken taşıma maliyetlerinin toplamı olarak ifade edilir.

- Değişken Taşıma Maliyetleri: Taşıma aktivitesi boyunca katedilen mesafe, geçen zaman, performans ve diğer etkenlere bağlı olarak değişen maliyetlerdir. Değişken maliyetler şöyle sınıflandırılabilir:
  - Akaryakıt Maliyeti: Taşıma aktivitesinde kullanılan araçların türüne ve katedilen mesafeye göre oluşan maliyetdir. En önemli maliyet kalemlerinden biridir.
  - Geçiş ve Yol Maliyetleri: Kullanılan yollar, köprüler..vs. için ödenen ücretlerdir.
  - Sürücü Sefer Maliyeti: Sürücünün maaşı dışında, gerçekleştirdiği taşıma için ödenen ücrettir (harcırah ücreti).
  - Bakım, Onarım Maliyetleri: Araçların taşıma aktivitesi esnasında oluşan hasarlara ilişin onarım maliyetleri ve katedilen mesafeye bağlı bakım giderleridir.
  - Ekipman Maliyetleri: Taşımaya özel kullanılan (germe kayışı, halat, kaydırmaz halı...vs.) ekipmanların ücretleridir.
  - Belge Maliyetleri: Taşımanın yapılabilmesi için temin edilmesi gereken belgelerin (vize, pasaport, tır karnesi...vs.) ücretleridir.
  - Vergi, Sigorta Maliyetleri: Taşımaya dair vergi ve sigorta ücretleridir.
  - Düşük Performans Maliyetleri: Taşımacılık aktisinin belirlenen zaman aralıklarında gerçekleştirilemesi durumunda oluşan maliyetlerdir. Taraflar arası sözleşmeye bağlı olarak belirlenen ücretler dışında prestij kaybından kaynaklanan maliyetler de bu sınıf dahil edilmelidir.
- Sabit Taşıma Maliyetleri: Sabit taşıma maliyetleri değişken maliyet olarak tanımlanamayacak, taşıma aktivitesinin gerçekleştirilmesine bağlı olmayan maliyetlerdir.
  - Amortisman Maliyetleri: Araç ve bina yatırımlarının amortisman giderleridir.

– Çalışan Maliyetleri: Taşıma aktivitesini gerçekleştirmek üzere istihdam edilen tüm çalışanlara dair oluşan masraflardır.

– Belge Maliyetleri: Taşıma aktivitesini gerçekleştirmek için alınması gereken belgelerin maliyetleridir.

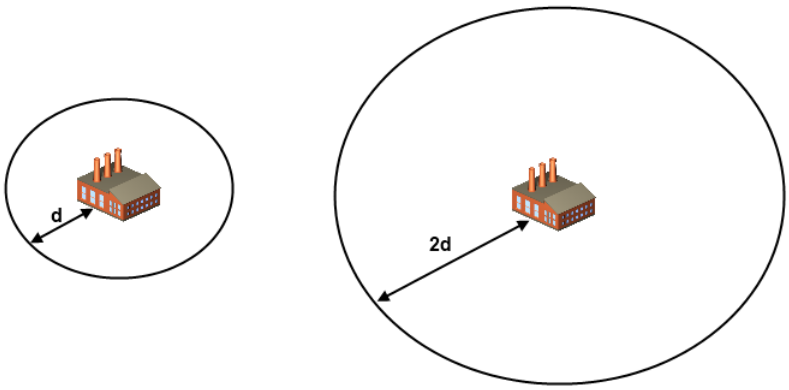
– Bakım Maliyetleri: Periyodik bakımlar için ödenen ücretlerdir.

– Bilgi İşlem Maliyetleri: Taşıma aktivitesinin takibi ve yönetilmesi için kurulan bilgi işlem altyapısına dair kurulum ve bakım maliyetleridir.

– Ekipman Maliyetleri: Taşıma aktivitesine özel kullanılan ekipmanlar dışında kullanılan tüm diğer ekipman maliyetleridir.

– Vergi, Sigorta Maliyetleri: Taşıma aktivitesine özel vergi ve sigorta işlemlerinin dışında ödenmesi gereken vergi ve sigorta maliyetleridir.

Taşıma maliyetlerinin düşürülmesi daha geniş pazarlara açılmanın da anahtarıdır. Lardner Yasası taşıma maliyetlerinin yarıya inmesi durumunda ulaşılabilecek pazarın dört kat artacağını belirtir.d yarıçaplı bir alanda etkili olan bir üretici taşıma faaliyetlerini yarıya indirirse eski maliyetle $2d$ yarıçaplı bir alanda etkili olacaktır. Bu da pazar alanının dört kat genişlemesi anlamına gelmektedir (**Şekil 2.1**).

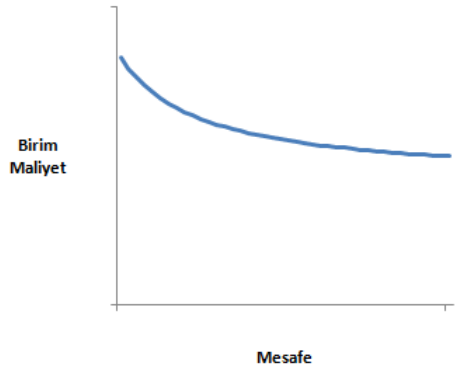


Şekil 2.1: Lardner yasası.

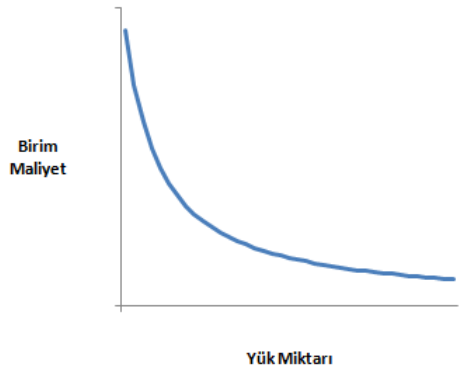
Taşımacılık maliyetleri taşınan yükün miktarına ya da toplam mesafeye bağlı olarak değişir. Birim taşımacılık maliyeti (birim yükü birim mesafe taşıma maliyeti) c ile, toplam katedilen mesafe l ile, birim mesafe maliyeti c_l ile, sabit sefer maliyeti c_s ile ve taşınan yükün miktarı A ile ifade edilirse birim taşımacılık maliyeti çoğu taşımacılık aktivitesi için şöyle hesaplanmaktadır:

$$c = \frac{l \cdot c_l + c_s}{l \cdot A} \tag{2.1}$$

Burada c_s ile c_l birçok değişkene bağlı fonksiyonlar olarak da düşünülebilir. Bu ifadeden de anlaşılacağı üzere birim maliyet, c, taşınan yükün miktarı, A ile katedilen mesafe, l'ye göre değişir. Taşınan yükün miktarına bağlı olarak değişim "Ölçek Ekonomisi" kavramıyla ifade edilir. Ölçek Ekonomisi taşınan miktar arttıkça toplam taşımacılık maliyetin azalacağını ifade eder. Bunun temel nedeni taşıma aktivitesinin maliyetinin değişken maliyetle birlikte sabit maliyete de sahip olmasıdır. Daha yüksek miktarlarda taşınan ürünler için birim ürünün birim mesafe taşınmasının maliyeti dolayısıyla da taşıma maliyeti azalacaktır. Taşıma aktivitesinde katedilen mesafeye bağlı maliyet değişimi ise "Mesafe Ekonomisi" kavramıyla açıklanır. Yine katedilen mesafe arttıkça birim ürünün birim mesafe taşınmasının maliyeti sabit maliyetlerin daha uzun mesafeler için geçerli olması nedeniyle azalacaktır (**Şekil 2.2**).



(a) Mesafe ekonomisi



(b) Ölçek ekonomisi

Şekil 2.2: Mesafe ve ölçek ekonomisi.

Taşımacılık sistemlerinin farklı sorumluluklara sahip tarafları vardır. Tanyaş [7] bu tarafları şöyle sınıflandırır:

- **Gönderici:** Taşıma faaliyetinde yükü gönderen taraftır.
- **Taşıyıcı:** Yükün taşınmasını gerçekleştiren, taşıma işlemini yöneten taraftır.

- **Alıcı:** Yükü teslim alan taraftır.

Taşıma faaliyetinin gerçekleştirilmesi talebi bazen göndericiden, bazen alıcıdan gelebilir. Taşıyıcı, taşıma faaliyetini gerçekleştirmek için kendi aracını ya da dış kaynak aracını kullanabilir. Taşıyıcının esas rolü, taşıma faaliyetinin yönetilmesi, tarafların güncel ve doğru bilgiye erişiminin sağlanmasıdır. Bu sorumlulukların birden fazlası aynı taraf tarafından üstlenilebilir.

Taşımacılık faaliyetleri farklı modlarla gerçekleştirilebilir. Taşıma modu taşımacılık faaliyetinin yapılış şeklini ifade eden kavramdır. Taşıma modları şöyle sıralanırlar:

(a) Karayolu (b) Demiryolu

(c) Denizyolu (d) Havayolu

(e) Boru hattı (f) İntermodal

Şekil 2.3: Farklı taşıma modları.

- **Karayolu** En temel ve yaygın taşıma modudur. Karayolları üzerinde karayolu taşıtları ile yapılan taşımalar karayolu modunu kullanan taşımalardır. Karayolu modunun başlıca avantajları ve dezavantajları şöyledir:
  Avantajları:

- Başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar hizmet verebilen tek moddur.
- Seferler sık ve esnektir.
- Küçük miktarlar taşınacağı zaman maliyet açısından daha avantajlıdır.
- Karayolu modu ile ortalama hızda taşımalar gerçekleştirilir.

Dezavantajları:

- Büyük miktarlar ve büyük mesafelerde daha maliyetlidir.
- Acil taşımalar için uygun değildir.
- Güvenlik konusunda sorunlar yaşanabilmektedir.
- Çevreye duyarlı olmayan bir taşıma şeklidir.

- **Denizyolu** Özellikle uluslararası taşımacılıkta sık kullanılır. Denizaşırı ülkeler arası ticarette vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Başlıca avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:
  Avantajları:
  - Uzun mesafelerde ve büyük miktarlarda yapılan taşımalarda en ucuz taşıma modudur.
  - Çevreye en duyarlı taşıma modudur.

  Dezavantajları:
  - En yavaş taşıma modudur.
  - Sadece denizle bağlantısı olan ülkeler için geçerli bir taşıma modudur.
  - Seferler esnek olarak gerçekleştirilemez.

- **Demiryolu** Demiryolları üzerinde trenlerle yapılan taşımalardır. Özellikle ulaştırmada tercih edilir. Demiryolu modunun öne çıkan avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanır:
  Avantajları:
  - Karayolu ve havayolu taşımacılıklarına göre düşük maliyetlidir.
  - Büyük miktarlarda yapılan taşımalar için karayoluna göre daha avantajlıdır.
  - Çevreye duyarlı bir taşıma modudur.

  Dezavantajları:
  - Karayolu ve havayoluna göre daha yavaştır.
  - Seferler daha az esnek olarak gerçekleşir.

- **Havayolu** Uçaklar ya da helikopterlerle yapılan taşıma şeklidir. Havayolunun öne çıkan özellikleri şöyledir:
  Avantajları:
  - En hızlı taşıma modudur.
  - En güvenli taşıma modlarından biridir.
  - Seferler sıklıkla gerçekleştirilir.

  Dezavantajları:
  - En pahalı taşıma modudur.
  - Büyük miktarlarda taşımacılık için uygun değildir.

- **İç su yolu** İç su yolu taşımacılığı nehirler, akarsular ile yapılan taşımalardır. Denizyolu moduyla benzer avantajlar ve dezavantajlara sahiptir.

- **Boru hattı** Sıvı maddelerin taşınması için kullanılan taşıma modudur. Boru hattı taşımacılığının başlıca avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir:
  Avantajları:
  - Uzun ömürlüdür.
  - Düşük işletme maliyetlerine sahiptir.

  Dezavantajları:
  - Yalnızca sıvı ürünlerin taşınmasını için uygundur.
  - Yüksek yatırım maliyetine sahiptir.
  - Güvenlik düzeyi düşüktür.

Özetlemek gerekirse bu taşıma modlarından en ucuz taşıma faaliyetlerinin gerçekleştirilebileceği modlar, denizyolu ve iç su yoludur. Ancak bunlar, coğrafi kısıtlamalar dışında büyük altyapı yatırımları gerektirirler. Havayolu taşımacılığı hızlı ancak pahalı, demiryolu taşımacılığı ise çevreye duyarlı fakat altyapı gereksinimi yüksek, esnekliği düşük bir taşıma modudur. Karayolu taşımacılığı son derece esnektir, maliyet açısından ortalarda yer alır ancak egzoz salınımı nedeniyle çevreye zararlı bir taşıma modudur. Boru hatları salt belli ürünler için kullanılabilmektedir. Yatırımları çoğunlukla devletler tarafından yapılır. Taşıma moduna göre maliyet yapısını Sanders [8], **Çizelge 2.1**'da görüldüğü gibi özetlemiştir. Tüm taşıma modlarının üstün ve sakıncalı yanları vardır. Taşımacılık yöneticileri, en uygun taşıma modunu seçmeli ya da eğer olanaklı ise ve maliyet açısından daha uygunsa birden fazla modun kullanılabileceği bir kombinasyonu yeğlemelidir. Birden fazla

kombinasyonun birleştirildiği taşımacılık şekline intermodal taşımacılık denir. Başlıca intermodal taşımacılık şekilleri RoRo ve RoLa olarak adlandırılır. RoRo karayolu ile başlayan, deniz yolu ile devam eden ve karayolu ile sona eren intermodal taşımacılık türüdür. RoRo "Roll-on roll-off" kelimelerinden türetilmiştir. RoLa ise karayolu ile başlayan demiryolu ile devam eden ve karayolu ile son bulan taşımacılık şeklidir. RoLa ismi "Rollende Landstrasse" kelimelerinin kısaltılmasıyla oluşmuştur. Bu iki intermodal taşımacılık dışında diğer kombinasyonlar da mevcuttur.

Çizelge 2.1: Taşıma modları maliyetleri.

Taşıma Modu	Sabit Maliyet	Değişken Maliyet
Demiryolu	Yüksek örn. ekipman, terminaller	Düşük örn. yüksek tonajlar taşınabilir
Karayolu	Düşük örn. otoyolları kamu sağlıyor	Orta örn. yakıt, bakım, işçi
Denizyolu	Orta örn. gemi ve ekipmanlar	Düşük örn. yüksek tonajlar taşınabilir
Boru Hattı	Yüksek örn. geçiş hakkı, inşa	Düşük örn. sıfır işçi maliyeti
Havayolu	Yüksek örn. uçak, elleçleme, kargo	Yüksek örn. yakıt, bakım, işçi

Lojistik sürekli gelişen bir alandır ve rekabetin üst düzeyde olması bu gelişmeyi daha da hızlandırmaktadır. Lojistik sektöründe başarılı olmak isteyen şirketlerin, başarılı taşıma yönetimi gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Gerek altyapı harcamaları gerekse süreçlerin başarıyla yönetilmesi için uygun yöneylem araştırması çalışmalarına olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taşımacılık ve özellikle Karayolu Taşımacılığı ile ilgili 1950'lerden itibaren birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Araç Planlama ve Rotalama Problemleri literatüre kazandırılmıştır. Araç Rotalama Problemi, birden çok noktaya uğraması gereken bir satıcı için en uygun rotanın oluşturulmasını amaçlayan Gezgin Satıcı Probleminin daha kapsamlı bir halidir. Kronolojik olarak Gezgin Satıcı Probleminden daha sonra ortaya çıkmasına karşın, problemin karmaşıklığı nedeniyle daha fazla ilgi çekmiştir.

Araç Rotalama Problemini ilk kez, 1958 tarihli "Araç Sevkiyatı Problemi" başlıklı makaleleriyle G.B.Dantzig ve J.H.Ramser [9] ortaya atmışlardır. Makalelerinde akaryakıt taşıyan bir filonun önceden talebi belli sevkiyat noktalarına nasıl paylaştırılacağına ilişkin bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu çalışma, daha sonraki araştırmalar için ilham kaynağı olmuştur.

Bu tarihten itibaren birçok araştırmacı, problemi farklı bakış açılarıyla ele almıştır. Her ne kadar farklı alt sınıflara bölünmüş olsa da konuyla ilgili genel kabul görmüş bir sınıflandırma henüz yapılamamıştır. Yine de modellerde dikkate alınan kısıtların popülerliğine dayalı bir sınıflandırma yapılabilir. Araç Rotalama ve Planlama Problemlerinde en sık dikkate alınan özellikler ve kısıtlar, filo özellikleri, yol ağının özellikleri, altyapı özellikleri, zaman penceresi kısıtları, kapasite kısıtları, sürüş sürelerine bağlı olan kısıtlar ve tüm bu kısıtlara ait verilerin özellikleridir (statik ya da dinamik olmasıdır).

3.1. Sınıflandırma Çalışmaları

Araç Rotalama ve Planlama Problemlerinin sınıflandırılmasına ilişkin son yıllarda yapılmış bazı önemli çalışmalar vardır. Bunlardan Berbeglia ve diğ. [10]'nin Araç Rotalama Problemlerinin en geniş alt sınıfını oluşturan Statik Tedarik ve Teslim Problemlerine ilişkin sınıflandırması ve yine Berbeglia ve diğ. [11]'nin Dinamik Tedarik ve Teslim Problemlerine dair sınıflandırmaları önemlidir. Tedarik ve Teslim Problemleri, malın veya insanların bir merkezden, hedeflenen bölgelere taşınması problemidir. Bu çalışmalarda sınıflandırma 3 parametreye göre yapılmıştır: Yapı, ziyaretler ve araçlar. Yapıya göre problemler 3'e ayrılmıştır. Çok'tan çok'a problemlerde mal ya da insan birden çok merkezden toplanıp, birden çok

merkeze dağıtılır. Birden çok'a ve sonra bir'e problemlerde merkezden alınan mallar ya da insanlar, birden fazla teslim noktasına dağıtılırlar. Ardından teslimat noktalarından alınan mallar ya da insanlar da daha sonra merkeze getirilirler. Birden bire problemlerde, tek merkezden alınan mallar yine tek teslimat noktasına götürülürler. Ziyaretlere göre sınıflandırmada dört çeşit ziyaret şekli dikkate alınır. Bunlardan ilki teslimat ve yeniden yüklemenin aynı anda tek seferde yapıldığı yükleme türleri, ikincisi bu operasyonların aynı anda ya da ayrı ayrı yapılabildiği, üçüncüsü bu operasyonların bir noktada salt birinin yapılabildiği taşımalardır ve dördüncüsü de bazı noktaların aktarma merkezi olarak da kullanılabileceği taşımalardır. Araçlara göre sınıflandırma, araç sayıları dikkate alınarak yapılır ve bir problem tek ya da çok araçlı olarak değerlendirilir. Bu sınıflandırma her ne kadar Araç Rotalama Probleminin bir alt kümesi için (Tedarik ve Teslim Problemleri için) yapılmış gibi görünse de, yapılan çalışmaların büyük bir bölümü buradaki sistematikle sınıflandırılabilmektedir. İlerleyen bölümlerde dikkate alınacak problem, bu sınıflandırmaya göre birden bir'e, teslimat ve yüklemelerin aynı anda ya da ayrı ayrı yapılabileceği çok araçlı bir dinamik tedarik ve teslim problemidir.

3.2. Veri Türü Ve Kısıtlarla İlgili Çalışmalar

Bazı Araç Rotalama Problemlerinde kullanılacak veri, problemin çözüm anında var olmayabilir. Bu veri, ilerleyen zamanlarda netleşir ya da güncellenir. Bu tür problemlere Dinamik Araç Rotalama Problemleri denir. Bu tür problemler, eğer bilinmeyen verinin stotastik yöntemlerle problem içine dahil edildiği yöntemlerle çözülüyorsa Stokastik Araç Rotalama Problemleri olarak adlandırılır. Powell [12] bilinen talep noktalarından gelen taleplerin ve düğümler arası seyahat sürelerinin rassal olduğu bir Araç Tahsis Problemi tanımlamıştır. Swihart ve Papastavrou [13] gerek talep noktalarının gerekse bu noktalardan gelen servis taleplerinin stokastik bir yapıyla oluşturulduğu bir problem üzerinde durmuşlardır. Dinamik problemleri, stokastik yöntemlerden çok, bir statik problem gibi ele alan çalışmalar da vardır. Bu çalışmaların ortak noktası, problemin eldeki verilerle çözüldükten sonra yeni veri ulaştığında ya son duruma göre problemin yeniden çözülmesi ya da problemin çözümünün belli bir alt kümesinde bir güncelleme yapılmasıdır. Bu konuda genel bir çalışma Ghiani ve diğ. [14] tarafından yapılmıştır. Makalelerinde dinamik (gerçek zamanlı) problemlerde kullanılan yaklaşımları ve algoritmaları biraraya getirmişlerdir. Horn [15] yeni taleplerin var olan rotalara yerleştirilmesini sağlayan bir çalışma yapmıştır. Savelsbergh ve Sol [16] DRIVE adlı bir yazılım geliştirerek değişmez ve değişebilir planlar üreten bir model tasarlamışlardır. Zaman içinde gelen taleplerle değişebilir planlar yeniden gözden geçirilir. Araç arızalarının oluşması durumunda ne tür bir strateji izlenmesi gerektiğine ilişkin çalışmalardan Zhang ve Tang'ın [17]

çalışması dikkate değer bir çalışmadır. Benzer durumların toplu taşıma araçlarında oluşması durumunda alınması gereken önlemleri inceleyen Li ve diğ. [18], Lagrange esnekleştirmesi tabanlı sezgisel ile çözüm üreten bir model geliştirmişlerdir.

Zaman penceresi, bir faaliyetin (yükü yükleme, boşaltma vb.) yapılmasının talep edildiği, önceden belirlenmiş süreyi ifade eder. Uygulamada, bir faaliyet çoğunlukla gerçekleştirilmek zorundadır ve zaman penceresinin dışına çıkılsa bile belli bir ceza ile gerçekleştirilmesi olanaklıdır. Bu durum, literatürde katı zaman penceresi ve esnek zaman penceresi gibi iki zaman penceresinin dikkate alınmasına neden olmuştur. Katı zaman penceresi söz konusu faaliyetin belirlenmiş zaman penceresi dışında kesinlikle gerçekleştirilemeyeceği durumlarda kullanılır. Esnek zaman penceresi ise, bu aralığın dışına çıkıldığında faaliyeti gerçekleştirenin belirli bir ceza ödediği durumlarda kullanılır. Bu cezanın, gecikmenin ya da erken gitmenin süresine bağlı olarak ifade edildiği fonksiyona ceza fonksiyonu denir. Katı zaman penceresi, esnek zaman penceresinde kullanılan ceza fonksiyonuna uygun değerler verildiği, esnek zaman penceresinin özel bir hali olarak ifade edilebilir. Bu durumda kullanılan zaman penceresine, genel zaman penceresi ya da kısaca zaman penceresi denilir. Ibaraki ve diğ. [19] genel zaman penceresi kullanılarak yapılan taşımalarda rotalama ve çizelgeleme üzerine çalışmışlardır. Amaç, servis yapılması gereken talepler kümesinin en uygun parçalanış kümesini bulmaktır. Her bir parçalanış, bir aracın servis yapacağı talepleri ifade eder ve en uygun parçalanışla en düşük maliyetli araç-talepler eşleşmeleri kastedilmektedir. Her talep için bir zaman penceresi ve bu zaman penceresine bağlı, her i talebi için $p_i(t)$ ile ifade edilen bir ceza fonksiyonu önceden verilmektedir. $p_i(t)$ fonksiyonları parçalı fonksiyonlardır. Verilen bir rota üzerindeki tüm taleplere ait ceza fonksiyonları dikkate alınarak bulunan en düşük ceza fonksiyonu $f_i^k(t)$ ile ifade edilir. Daha sonra bu değer, amaç fonksiyonu içinde erken ya da geç gitmeye bağlı maliyeti ifade etmek üzere yerine konur. Zhang ve Tang [17], daha yalın bir yaklaşımla ceza fonksiyonunu erken ya da geç varış yapılan sürenin büyüklüğüyle orantılı bir şekilde ifade etmişlerdir. Erken varılan birim süre başına c_{ei}, geç varılan birim süre başına c_{li} ceza değeri belirlenmiştir.

Kallehauge [20], zaman penceresi bulunan araç rotalama problemlerini ve bu problemlere ait model ve kesin çözüm algoritmalarını incelediği çalışmasında, katı zaman penceresi üzerinde durmuştur. Talepler kümesinin bir alt kümesindeki tüm taleplere uğrayacak şekilde hazırlanmış bir güzergâhta, eğer araç taleplerden en az birine geç varış yapıyorsa bu güzergâh olursuz, eğer tüm talepler için geç varış söz konusu olmuyorsa olurlu olarak tanımlanır. Başlangıç noktasından bitiş noktasına giden bir araç olurlu bir güzergâh kullanıyorsa, aracın kullandığı bu güzergâhın tümü bir rota olarak tanımlanır. Erken varış dikkate alınmamıştır. Erken varış yapan araç, zaman penceresinin alt sınırına kadar beklemek zorundadır. Kallehauge salt

rotalar kümesi üzerinde hesap yaparak katı zaman penceresini kullanmıştır. Li ve diğ. [21] benzer bir yaklaşım benimsemişlerdir. Kabul edilebilir güzergâhlar olarak adlandırdıkları güzergâhlar kümesine yalnız araçların zaman penceresi içinde servis yapabilecekleri talepleri ziyaret ettikleri güzergâhlar dâhil edilmiştir. Belfiore ve Yoshizaki [22], ele aldıkları problemi modellerken zaman penceresini kısıt olarak modele yerleştirerek katı zaman penceresini kullanmışlardır. $[a_i, b_i]$ şeklinde verilen zaman penceresine sahip i müşterisine servis yapacak aracın servise hazır olduğu süre t_{si} ile gösterilirse,

$$a_i \leq t_{si} \leq b_i, \forall i \in \{\text{Müşteriler}\}$$

kısıtı, katı zaman penceresine uyum koşulunu sağlayacaktır.

Qureshi ve diğ. [23] katı ve esnek zaman penceresi kavramlarını maliyet fonksiyonunun uygun bir ifadesiyle birleştirmişlerdir. Her bir talep için zaman pencereleri dışında kabul edilebilir son hizmet süresi de belirlenerek, zaman penceresinin üst sınırı ile bu süre arasında yapılacak servisler için ceza fonksiyonunun artan değerleri alması sağlanmıştır. Bu sürenin sonrasında ise ceza fonksiyonu çok büyük bir değer alır ve böylelikle bu sürenin üzerine çıkılması engellenmiş olur. Bu yaklaşıma araştırmacılar yarı esnek zaman penceresi ile modelleme adını vermişlerdir.

Müller [24] geç kalınan ya da erken gidilen süre için bir ceza fonksiyonu belirlemek yerine bu sürelerin en büyüğünü enküçükleyecek bir amaç fonksiyonu içeren bir çok amaçlı optimizasyon problemi üzerinde çalışmıştır. Bir başka çok amaçlı optimizasyon problemini dikkate alan Meng ve diğ. [25], tehlikeli madde taşımacılığında, başlayan bir faaliyetin $[0, T]$ aralığında sonlandırılmasını isteyen bir yapı için çözüm üretmişlerdir.

Zaman pencereleri ve bunlara bağlı ceza fonksiyonun belirlenmesi, katı koşulların da kolaylıkla modellenebileceği bir yaklaşım sunduğu için genel kabul görmüştür. Ceza fonksiyonları çoğunlukla 3 ve bazen daha fazla parçadan oluşan parçalı fonksiyonlar şeklinde ifade edilirler. Bu 3 parçanın ilki, belirlenen zaman penceresinden önce, ikincisi zaman penceresi içinde ve üçüncüsü de bu aralıktan sonra hizmet yapılması durumunda oluşacak ceza değerlerini verirler. Genel olarak bu fonksiyon, $[a, b]$ zaman penceresi için aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$f(x) = \begin{cases} f_1(x), & 0 \leq x < a \\ f_2(x), & a \leq x \leq b \\ f_3(x), & x > b \end{cases}$$

Araç Rotalama ve Planlama Problemlerinde en büyük zorluk deterministik verinin yeterli olmamasıdır. Çoğu zaman stokastik hesaplara ya da kabullere başvurulur. Zaman penceresinin stokastik programlama ile ele alınması da olanaklıdır. Li ve

diğ. [26] göz önüne aldıkları Araç Rotalama Problemi için hazırladıkları modele, belirlenen zaman penceresinde hizmet edebilme olasılığının, bir eşik değerin (güven seviyesi) üstünde olmasını sağlayacak bir kısıt eklemişlerdir. Böylelikle katı bir zaman penceresi belirlenmekle birlikte, öngörülemeyen sorunlar nedeniyle oluşabilecek gecikmeler de, belirlenmiş bir güven düzeyinde dikkate alınmış olur.

Son yıllarda çalışma ve sürüş sürelerini dikkate alan çalışma sayılarında da ciddi artışlar gözlenmektedir. Li ve diğ. [26] periyodik aralıklar içindeki sürüş sürelerini bir eşik değerle sınırlandırarak sürüş süreleri kısıtlarını modellerinde kullanmışlardır. Ayrıca sürüş süreleri konusunda en üretken adlardan olan Goel [27] "Fleet Telematics (Filo Telematiği)" adlı kitabında AB kurallarını dikkate alan bir model önerisinde bulunmuştur. Goel ve diğ. [28], Avustralya için sürüş ve çalışma sürelerini dikkate alan bir çalışma yayımlamıştır. Yine Goel ve Vidal [29] çalışmalarında Araç Rotalama Problemi ve Sürücü Planlama Problemini içiçe geçiren yeni bir problem tanımlamışlar ve bu problem için bir melez genetik algoritma geliştirmişlerdir.

3.3. Model Ve Çözüm Yöntemleri

En popüler yöneylem problemlerinden biri olan Araç Rotalama Problemleri için çözüm üretirken kullanılan birçok tam çözüm veren yöntem, sezgisel yöntem ve algoritma vardır. Kapasiteli Araç Rotalama Problemleri için tam çözüm veren algoritmalar hakkında Baldacci ve diğ. [30] bir araştırma yayımlamışlardır. Bu çalışmalarında problemin farklı modelleri ve kısıtlar üzerinde durmuşlardır. En sık kullanılan çözüm algoritmalarından birisi Dal ve Kesme algoritmasıdır. Bu algoritma popüler Dal ve Sınır algoritması ile Düzlem Kesme Algoritmaların bir kombinasyonudur. Padberg ve Rinaldi [31] ve Dumitrescu ve diğ. [32] bu algoritmayı kullanarak Gezgin Satıcı Probleminin farklı versiyonlarını çözmüşlerdir. Tedarik ve Teslimli Gezgin Satıcı Problemlerini "Son giren ilk çıkar (LIFO - Last in first out)" kuralına göre aynı algoritmayla Cordeau ve diğ. [33] ve "İlk giren ilk çıkar (FIFO - First in first out)" kuralına göre Cordeau ve diğ. [34] çözmüşlerdir. Tedarik ve Teslim Problemlerinde transferli bir yapıyı dikkate alan Cortés ve diğ. [35], yine Dal ve Kesme algoritmasını kullanmıştır.

Tabu Arama Algoritması da Araç Rotalama Problemlerinde sıklıkla kullanılan algoritmalardan biridir. Tabu Arama algoritması, Glover [36, 37] tarafından geliştirilmiştir. Cordeau ve Laporte [38], en iyi 10 Tabu Arama Algoritmasının Araç Rotalama Problemi uyarlamalarını incelemişlerdir. Brandão [39] Geri Dönüşlü Araç Rotalama Problemi olarak adlandırılan ve depodan alınan yükün birçok teslim noktasına taşınmasının ardından bu noktalardan alınan yükün de depoya getirilmesini gerektiren problem için Tabu Arama Algoritmasını kullanmıştır. Dış

kaynak kullnımının olanaklı olduğu bir başka Araç Rotalama Problemi uyarlamasında Côté [40], yine bu algoritmayla çözüm arayan bir model geliştirmiştir.

Bir başka popüler algoritma olan Sütun Oluşturma algoritması Goel [41] ve Oppen ve diğ. [42] tarafından Genel Araç Rotalama Problemlerine uygulanmıştır.

Araç Rotalama Problemlerinde kullanılan sezgiseller Cordeau ve diğ. [43] tarafından incelenmiştir. Gidiş-Dönüş yükünün birlikte planlandığı bir Araç Rotalama Problemi için Gajpal ve Abad [44] geliştirdikleri karınca kolonisi yaklaşımını kullanmışlardır. Hong ve Liu [45], ilk aşamada rota sayısını enküçükleyen ve ikinci aşamada toplam maliyeti enküçükleyen bir problem üzerinde iki aşamalı melez bir sezgisel kullanmışlarıdr. Krumke ve diğ. [46] gerçek bir problem üzerinde yaklaşık çözüm veren algoritmalar kullanmışlardır.

3.4. Karar Destek Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

Araç Rotalama Probleminin çözümü, hızlı bir şekilde elde edilmediği sürece pratik kullanıma sokulamayacaktır. Bu problemin çözümüne gereksinim duyan kişiler, genelde çözüm gereksinimi anında model kurma ve kurulan modeli çözdürme yeteneğine sahip olmayacaktır. Ayrıca problem başarıyla ve hızlı bir şekilde çözülse dahi bir başka çözüm, uygulanmaya daha müsait olabilir. Bu nedenle, üretilen çözümler tavsiye niteliğinde çözümler olacaktır. Son kullanıcı yeteneklerini göz önünde bulundurarak tasarlanan ve destek amaçlı çözüm seçenekleri sunabilen yazılımlar, bu tür gereksinimleri göz önünde bulundururlar. Karar Destek Sistemleri adı verilen bu yazılımlar sayesinde, kullanıcılar karmaşık problemlere hızlı çözümler üretebilirler. Taşımacılıkta da bu tür sistemler sıklıkla kullanılmaktadır. Wang [47], çok acenteli bir lojistik dağıtım ağı için bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Zak [48] taşımacılıkta kullanılan bu tür sistemlere dair ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, taşımacılıkta kullanılan karar destek sistemleri şöyle sınıflandırılmıştır:

- Odaklanılan moda göre (havayolu, denizyolu, karayolu, demiryolu, multimodal taşımalar ya da toplu taşıma sistemleri için kullanılmasına göre)
- Boyut ve kapsama göre (tek kullanıcılı, ağ ya da grup yönlü ya da merkezî, işletme yönlü olmasına göre)
- Kavramsal odağa göre (iletişime, veriye, dokümana, modele ya da bilgiye dayalı olmasına göre)
- Problem çözme yaklaşımına göre (pasif, aktif ya da işbirliğine dayalı olmasına göre)

- Organizasyonel düzeye göre (stratejik, taktiksel ya da operasyonel düzeyde olmasına göre)
- Konu kapsam ve odağına göre (filo işletme, personel yönetimi, taşımacılık işlemleri yönetimi, tedarik zinciri yönetimi ya da satış yönetimine odaklanmasına göre)
- Temel alınan karar destek yöntemine göre (optimizasyon tabanlı, simülasyon tabanlı, oyun kuramı tabanlı, veri madenciliği tabanlı ya da karma yöntemler tabanlı olmasına göre)
- Verinin türüne göre (deterministik olmasına ya da olmamasına göre)
- Verinin zamana bağımlılığına göre (statik ya da dinamik olmasına göre)
- İnternetten yararlanıyor olmasına göre (çevrimiçi ya da çevrimdışı olmasına göre)
- Kullanıcıyla iletişim durumuna göre (pasif ya da interaktif olmasına göre)

Zak [48] ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Karar Destek Sistemleri içerisinde kullanımına da dikkat çekmiştir. CBS ile coğrafi verinin saklanması, görüntülenmesi ya da işlenmesi olanaklı olmuştur. Karar Destek Sistemleri içerisine görsel öğelerin de yerleştirilmesi, gerek problemin gerekse çözümün daha net algılanması için oldukça faydalı bir altyapı sunmuştur.

CBS son yıllarda bilgisayar ve internet bağlantısı olan tüm programcıların yararlanabileceği bir altyapıya kavuşmuştur. Özel bir donanıma ya da özel bir yazılım bilgisine sahip olmak gerekmeksizin, tüm kullanıcılar CBS'den yararlanabilmektedir. Google, Yahoo ya da Microsoft gibi yazılım devleri, CBS'yi ücretsiz olarak kullanıcılarına sunmakta, yine ücretsiz olarak geliştirme olanağı da vermektedirler.

Google'un CBS ile ilgili çalışmaları dikkate değerdir. Google Earth ve Google Maps gibi sistemler, programcılar tarafından sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu programların geliştirilmesini için Uygulama Programlama Arayüzleri (API) ve coğrafi verinin işlenmesi için yaratılmış KeyHole İşaretleme Dili (KML) kullanılmaktadır. Sandvik [49] tematik harita uygulamalarında KML kullanımıyla ilgili bir çalışma hazırlamıştır.

Peng ve diğ. [50] Google Maps altyapısını kullanarak bir rotalama uygulaması geliştirmişlerdir. Bu uygulama ile Google Maps'in yerleşik rota uygulaması ve sokak görüntüleri ile oluşturulmuş panaromik fotoğrafların sunulduğu Google Street View uygulaması kullanılarak iki nokta arasındaki en uygun rota üzerinde sokak görüntülerinden oluşan bir video ile rota özellikleri incelenebilmektedir. Santos ve

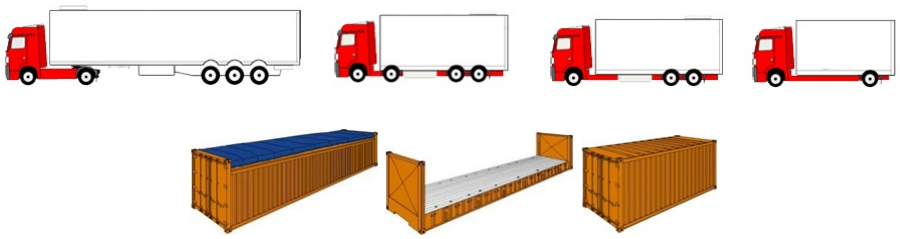
diğ. [51] yine Google Maps altyapısını kullanarak web tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Araç Rotalama Problemi çoğunlukla bir çizge (graf) oluşturularak modellenir. Çizge üzerinde yer alan düğümler, yükleme ya da boşaltma noktalarını, düğümler arasındaki kenarlar ise yolları ifade eder. Santos ve diğ. incelediği problem, taleplerin kenarlar üzerinde oluştuğu bir kenar rotalama problemidir. Kullanıcı dostu bir arayüzle görsel bir Karar Destek Sistemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada karayolu ile yurtdışı taşımacılığı yapan bir şirket için Araç Planlama Probleminin uygun bir modelinin geliştirilmesi ve modele dayalı bir karar destek sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. İzleyen bölümde, önce kısıtlar ve amaç fonksiyonu incelenerek Araç Planlama Problemi modeli kurulacak, ardından karar destek sistemi oluşturulacak, son olarak da bir uygulama yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

4. ARAÇ PLANLAMA PROBLEMİ

Araç Planlama Problemi bir araç filosunun bu araçlarla servis talep edilen noktalarla eşleştirilmesi söz konusu olduğunda ortaya çıkan problemdir. Amaç bu eşleştirmeyi yaparken talep sahiplerinin hoşnutluğunu sağlamak ve maliyetleri olabildiğince düşük tutmaktır. Bu amaçlar doğrultusunda modellenen problemlerde dikkate alınan bazı kısıtlar vardır. Bu kısıtlardan en sık göz önüne alınanları şöyle sınıflandırabiliriz:

1. **Araçlara Bağlı Kısıtlar:** Araçlar taşıma faaliyetlerinin en önemli öğeleridir. Araçlar büyüklüklerine, teknik özelliklerine ya da araçları kontrol eden kişilere (sürücüler, operatörler...vs.) göre çeşitlilik gösterirler (**Şekil 4.1**). Planlama problemi modellenirken, modelde talep edilen ya da altyapının kullanımını gerektirdiği araç türüne göre bu kısıtlara da yer verilir. Araçlara bağlı kısıtlar da, kendi içinde aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:



Şekil 4.1: Taşımacılıkta kullanılan araç tipleri.

   – **Araçların Kapasiteleri:** Kapasite, Araç Rotalama ve Planlama Problemlerinde en sık dikkate alınan kısıttır. Kapasiteli Araç Rotalama Problemi, kapasite bakımından heterojen bir filoya sahip olunduğunda dikkate alınan problemdir. Araç Rotalama Problemi dendiğinde kastedilen, çoğunlukla Kapasiteli Araç Rotalama Problemidir. Bu problemlerde, müşterilerin taşınmasını talep ettikleri malın miktarı, kapasitenin belirlendiği cinsten bir ölçü birimiyle ifade edilir ya da söz konusu olan canlıların taşınması ise adet cinsinden talebin büyüklüğü belirlenir. Araç filosu heterojen olduğundan bazı talepler için filodaki araçların bir kısmının kapasitesi yeterli olmayacaktır veya bir araç yüksek kapasitesi nedeniyle düşük maliyetli bir plan yapabilmek adına birden fazla talebe hizmet verecektir. Kapasitenin dikkate alınmadığı Araç Rotalama Problemlerinde ya her talep bir araçla eşlenmesi gereken bir

noktayı belirler ya da araçlar talepler yanında oldukça yüksek kapasiteli olacağı için araçların sınırsız talebe cevap verebileceği düşünülür ve katedilen mesafe enküçüklenmeye çalışılır. A. Hoff ve diğ. [52] kapasite kavramını 3 farklı bakış açısına göre sınıflandırmıştır: Fiziksel boyutlar, talebe uygunluk ve heterojen filo işletmenin maliyetleri. Toth ve Vigo [53] tarafından yapılan incelemede, Kapasiteli Araç Rotalama Probleminin çözümünde kullanılan modeller incelenmiştir. Tütüncü [54] problemi belli sayıda araca sahip bir filo için (probleme göre optimum araç sayısının arandığı durumlardan farklı olarak) çözmüştür.

- **Araçların Teknik Özellikleri:** Araçların teknik özellikleri taşıma faaliyetinin gerçekleştirlmesine uygun olmayabilir. Mesela taşınması istenen malların belli bir sıcaklıkta taşınması gerekebilir ya da yüklemenin yapılacağı rampanın konumuna veya yükleme biçimine göre aracın yandan ya da üstten açılabilir olması gerekebilir. Bu tür teknik özellikler hangi araçların hangi taşımalar için uygun olduğunu belirler.
- **Sürücülerin Özellikleri:** Sürücülerin teknik donanımı, kişisel özellikleri ve hatta psikolojik durumları modellerde kısıt olarak kullanılabilir. Bir sürücünün ortalama araç kullanım hızı, acil yüklerin hangi sürücüler tarafından taşınması gerektiğini belirleyebilir. Tehlikeli madde taşımacılığı söz konusu olduğunda, sürücülerin söz konusu yükü taşımak için yetkinliğinin kanıtlandığı belgelere gereksinim duyulur. Daha önce belli bir yükleme noktasında görev almış ve sorunlar yaşamış bir sürücünün aynı yükü yüklemesi yeğlenmeyebilir.

2. **Altyapı ve Taşıma Ağına Bağlı Kısıtlar:** Altyapı ve taşıma ağı, modelin çözümü sırasında dikkate alınması gereken kısıtları belirler. Bu kısıtlar, aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

   - **Tedarik ve Teslim Noktalarının Sayısı:** Tedarik ve teslim noktalarının sayısı, problemin nasıl ele alınacağını etkiler. Her bir talep bir tedarik ve bir teslim noktası içeriyorsa, problem Bire-bir Araç Rotalama Problemi olarak adlandırılır. Eğer araçlar tek noktadan yükleme yaptıktan sonra birden çok noktaya teslim gerçekleştirecekse ve yine birden çok teslimat noktasından toplayacakları yükleri merkezî depoya taşıyacaklarsa "Bir'e Çok'a Bir Araç Rotalama Problemi" olur. Eğer bir talep birden çok tedarik ve birden çok teslim noktası içeriyorsa problem "Çok'a Çok Araç Rotalama Problemi" olarak adlandırılır. Araç Planlama Problemi bire-bir bir problemdir. Araçlar tek bir depodan çıkar ve boşaltma noktalarında yüklerini boşaltırlar. Aynı şekilde dönüşte tek bir noktadan yüklerler ve

depoda yüklerini boşaltırlar. Berbeglia ve diğ. [10], tedarik ve teslim noktalarının sayısına göre bir sınıflandırma yapmıştır.

– **Taşıma Ağının Yapısı (Altyapı):** Taşımacılıkla ilgili kararlar, var olan altyapının olanakları dikkate alınarak verilir. Yolların, limanların, havaalanlarının, demiryollarının vb. kalitesi, verilen kararları etkiler. Altyapının yetersiz olduğu yerlerde maliyetler artar. Bu da seçilen rotaları etkiler. Köprüler ve tüneller; yükün tonajı, yükün tehlikeli madde içermesi ya da aracın yüksekliği göz önüne alınarak kullanılır ya da başka rotalar aranır. Yeterli demiryolu altyapısı, uygun limanların bulunması, farklı modların birleştirilerek üstünlüğü olan rotalar yaratılmasını sağlayabilir.

– **Yasalar** Taşıma ağının kullanımına ilişkin yasalar, hangi araçların kullanılıp hangilerinin kullanılamayacağını ya da belirli saatler arasında kullanılabileceğini belirler. Ayrıca tehlikeli madde taşımacalığı söz konusu olduğunda, hangi yolların kullanımının yasak olduğu da yasalar tarafından belirlenir.

  Yasalar, sürücülerin çalışma ve sürüş sürelerini de belirler. Özellikle uzun zaman alan taşıma faaliyetlerinde çalışma ve sürüş sürelerinin önemli etkileri vardır. Bu tür problemlerde çalışma ve sürüş süreleri dikkate alınmadıkları taktirde, seyahat ve hizmet süreleri tahmin edilirken büyük sapmalar oluşur. Avrupa Birliği ülkelerinde başlayan, biten ya da bu ülkelerin topraklarının transit geçişlerde kullanıldığı taşımacılık faaliyetlerinde uyulması gereken çalışma ve sürüş süreleri kuralları, 2006 yılında yürürlüğe giren (EC) No. 561/2006 tüzüğü ile belirlenmiştir. Bu kurallar, bu çalışmada da kilit rol oynayacağı için özetle açıklanacaktır. Kurallar 3.5 tonun altında ve üstünde araçlar için ayrı ayrı belirlenir. Yüksek tonajlı araçlarla taşımacılık yapan araç sürücüleri aşağıdaki kurallara uymakla yükümlüdür:

  * En fazla 4,5 saatlik sürüşün ardından 45 dakikalık mola verilmesi gerekir. Bu mola, en küçüğü 15 dakikadan az olmamak kaydıyla 2 ya da 3 parçaya bölünebilir.
  * Günlük sürüş süresi en çok 9 saat olabilir. Haftada an fazla 2 kez olmak üzere bu süre 10 saate çıkarılabilir. Günlük dinlenme süresi 11 saattir. Bu süre, en fazla haftada 3 kez olmak üzere 9 saate indirilebilir. Yine günlük dinlenme süresi en küçüğü en az 1 saat, sonuncusu en az 8 saat ve toplamları en az 12 saat olmak üzere parçalanarak 24 saate yayılabilir. Bir sürücü, bir önceki günlük dinlenme süresinin bitiminden itibaren 24 saat içinde ikinci günlük dinlenme süresini tamamlamış olmalıdır. Bu kurallardan şu sonuç çıkar: Günlük sürüş

faaliyetleri, 11 saati günlük dinlenme süresi, 9 saat sürüş süresi ve 45 dakikalık sürüş arası mola ile 20 saat 45 dakikalık periyotlarla yinelenebilir. Diğer bir deyişle günlük sürüş süresi tam olarak 24 saatlik bir periyot içindeki sürüş süresini ifade etmez.

* Haftalık dinlenme süresi en az 45 saattir. Bu süre araç filo merkezinde ise 36 saate ya da filo merkezinin dışında ise 24 saate kadar düşürülebilir.
* Normal sürelerin altında gerçekleştirilen tüm dinlenme süreleri, daha sonra belirlenen kurallara uyarak telafi edilmelidir.
* Birbirini izleyen iki haftada, toplam sürüş süresi 90 saati geçemez.

Araçların sürüş saatleri, araçlarda bulunan ve takograf denilen aygıtlarla kayıt altına alınır. Bu aygıtların kayıtlarına müdahale etmek suçtur. Sürücü sürüş sürelerine ilişkin kısıtlar, araç rotalama problemlerinde nadiren dikkate alınmıştır. Bunun nedenleri, dikkate alınan taşıma faaliyetlerinin ya bu kuralların dışında kalması ya faaliyet sürelerinin yeterince kısa olması ya da yasalarla belirlenen kuralların uygulanmasında yaşanan teknik eksikliklerin, bu yasaların yaptırım gücünü ortadan kaldırması, böylece modellerin sürüş süreleri kısıtlarını dikkate almayan faaliyetleri temsil edememesidir. Ancak güncellenen kurallar ve gelişmiş takograf aygıtları sayesinde bu kurallara uyum daha sıkı izlenebilecektir.

3. **Talebe Bağlı Kısıtlar:** Talepler, hangi araçların kullanılabileceğini ve kabul edilebilir hizmet performansını belirler.

   – **Zaman Pencereleri** Zaman pencereleri, müşteri tarafından belirlenen kabul edilebilir hizmet zamanlarını belirler. Bu zaman pencerelerinin dışında kalan hizmetler ya ekstra maliyet yaratır ya da tümüyle kabul edilemez durumda olur. Zaman pencereleri, bu özelliğine göre ikiye ayrılır: Katı ve esnek zaman pencereleri. Eğer taleple belirlenmiş zaman pencereleri dışında hizmet kesinlikle kabul edilmiyorsa katı zaman penceresi, eğer bu aralığın dışında yapılan servisler için ekstra maliyet söz konusu oluyorsa esnek zaman penceresi söz konusudur. Katı zaman pencereleri söz konusu olduğunda modelin, zaman penceresi ihlali yapacak araçları ilgili taleplerle eşlememesi gerekir. Eğer esnek zaman penceresi söz konusu ise talebe göre değişen bir ceza fonksiyonu yardımıyla erken ya da geç gerçekleşen servisin maliyeti hesaplanır. Belfiore ve diğ. [22], üzerinde çalıştıkları vak'a için katı zaman pencereleri kullanmışlardır. Li ve diğ. [26], araç hızlarının ve servis sürelerinin stokastik olarak belirlendiği modellerinde zaman pencerelerini

kullanmışlardır. Kallehauge [20] Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri için farklı formülasyonları incelemiştir. Ibaraki ve diğ. [19] ile Qureshi ve diğ. [23] değişik durumlarda değişik ceza değerleri kullandıkları bir Esnek Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi üzerinde çalışmışlardır.

Bu çalışmada dikkate alınacak problem Araç Planlama Problemidir. Amaç, Türkiye'den yola çıkarak Avrupa'ya seyahat eden ve öncelikle ihracat faaliyetini, ardından ithalat faaliyetini tamamlayarak yeniden Türkiye'ye dönen araçlar için ithalat talepleri ve araçlar eşleşmesinin en düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Diğer bir deyişle, salt tüm faaliyetin Avrupa ayağına odaklanılarak, faaliyetin yarısında verilen kararlar üzerinde bir çalışma yapılacaktır. Problem, her ne kadar Araç Rotalama Problemlerinde kullanılan modeller dikkate alınarak çözülecekse de, Araç Planlama Problemi olarak adlandırılması daha uygundur. Aktivite iki temel karar verme eyleminden oluşmaktadır ve ikinci karar verme anında, ilk anda verilen kararların üzerinden hareket edilmektedir. İlk anda ihracat talepleri ile ithalat talebi gelme potansiyeli olan noktalar da dikkate alınarak, uygun araçlar eşleştirilir ve rotalar belirlenir. İkinci karar verme anı, ihracat faaliyetleri sonlandığında başlar. Bu iki karar verme sürecinin bağımsız olmasının nedeni, dinamizmin yüksek olması, bu nedenle de planlama ufkunun daha kısa tutulması yani ilk karar anında ikinci karar verme eylemi için gereksinim duyulan verilerin büyük ölçüde eksik olmasıdır. Dinamik rotalama problemleri, deterministik bilginin eksik olduğu durumlarda stokastik hesapların yapıldığı problemlerdir. Bir problemin dinamizminin derecesi Berbeglia ve diğ. [11] çalışmasında Larsen'in etkin dinamizm derecesi formülü ile tanımlanmıştır. 0 anında başlayan ve T anında sona eren bir planlama ufku için R taleplerin kümesini, t_i ve l_i sırasıyla i talebinin $i \in R$ olmak üzere alındığı ve hizmet edilebileceği son süreyi göstermek üzere, etkin dinamizm derecesi (edd) şöyle tanımlanır:

$$edd = \frac{1}{|R|} \sum_{i \in R} \frac{T - (l_i - t_i)}{T}$$

Türkiye'deki ihracat ve ithalat taleplerinin alındığı zamanları ile son servis zamanları arasında bir ya da birkaç gün bulunmaktadır. Bu durum, özellikle bu alanda aşırı rekabetçi bir taşıma sektörünün olması ve taleplerin hızla hizmete sunulmasının bir sonucudur. Bu rekabetçi yapı, uzun vadeli taşıma planları yapılması konusunda baskıyı en aza indirmektedir. Bu durumda, yüksek etkin dinamizm derecesine sahip bir problemde stokastik hesapların devreye girmesi gerekir. Etkin dinamizm derecesi 0 olduğunda, problem talepler için rassal veri içermeyecektir ve bu durumda deterministik yöntemler kullanılır. Türkiye ve Batı Avrupa arasında gerçekleşen taşıma faaliyetleri, sürüş ve çalışma sürelerine ilişkin yasalar nedeniyle ortalama 6

ya da 7 gün sürmektedir. Talepler için $l_i - t_i$ farkı bir güne kadar inebildiğinden deterministik yöntemlerin kullanılabilmesi için T'nin de bir güne indirilmesi gerekir. Bu da problemin iki farklı planlama problemi olarak ele alınmasını gerektirir.

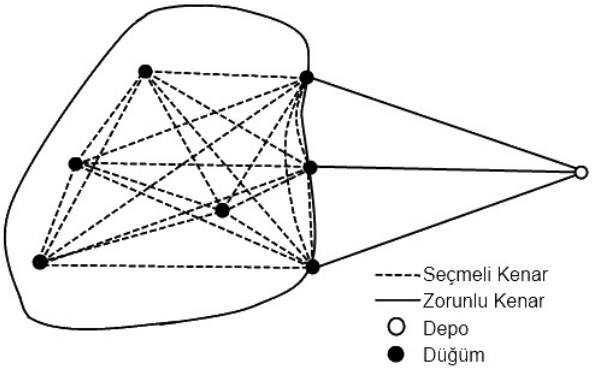
Araç Planlama Problemini literatürdeki benzer problemlerden ayıran bir diğer nokta, taleplerin tek bir noktayla değil iki noktayla ifade edilmesidir. Bu noktalardan ilki, ürünlerin yükleneceği yükleme noktasını temsil ederken, ikincisi yüklenen yüklerin gümrük işlemlerinin yapılacağı noktayı belirler. Genellikle her iki işlem de aynı noktada yapılır ancak bazı durumlarda bu geçerli değildir, taleple birlikte birbirinden farklı iki nokta iletilir. Bazen de gümrük işlemlerinin yapılacağı nokta konusunda bir talep bildirilmez ve bu durumda aracı işleten kuruluş bu noktanın seçilmesinden sorumludur.

Araçlar da tıpkı talepler gibi iki noktayla ifade edilir. Bu noktalardan ilki, aracın bulunduğu noktayı belirler. İkinci nokta, aracın kullanabileceği çıkış kapısını belirler. Yük taşımacılığı yapılırken transit geçiş için kullanılacak ülkelere ilişkin çeşitli kurallar vardır. Bazı ülkeler bu geçişlere izin vermezken, bazı ülkeler alternatif taşıma modlarıyla taşımayı teşvik eder ve karayolu taşımacılığına da sınırlama getirir. Tüm ülkeler, transit geçiş yapmak için izin alınmasını talep ederler. Bu yüzden bir aracın Batı Avrupa'ya giderken kullandığı rotalar, dönerken kullanacığı rotayı da belirler. İzin belgesi olmayan bir ülkenin topraklarının kullanılması söz konusu olamaz. Bu nedenle, araçların konumları dışında kullanılan ikinci nokta ile rota da büyük ölçüde belirlenmiş olur.

Türkiye ile Batı Avrupa arasında multimodal taşımalar da sıklıkla kullanılır. Akdeniz'de faaliyet gösteren RoRo gemileri ile yükler Batı Avrupa'daki limanlara kadar taşınır. Avrupa içi demiryolları da gerek araçların gerekse hem karayolu taşıtları hem de demiryolu araçları ile uyumlu konteynerin belirli noktalara kadar taşınmasında kullanılır. Taşıma modları seçenekleri, tüm talepler için kullanışlı olmayabilir. Neme duyarlı yükler RoRo gemileriyle taşınmadığı gibi, bakımsız karayolları, stabilitesi düşük yükler için tehlike yaratacağından, bu yüklerde RoRo gemileriyle taşınır. Bu yüzden talep, taşıma modu tercihinde de etkili olabilmektedir.

4.1. Problemin Tanımı Ve Modellenmesi

Araç Planlama Problemi bir çizge kuramsal problemi olarak modellenecektir. $G = (V, A)$ bir tam çizge ve $V = N_1 \cup N_2 \cup C_1 \cup C_2$ düğümlerin kümesi, A kenarların kümesi olarak tanımlansın. $N_1 = \{n_{11}, n_{12}, \cdots, n_{1m}\}$ araçların bir sonraki talebi yerine getirmek için hazır oldukları anda bulundukları yerleri, $N_2 = \{n_{21}, n_{22}, \cdots, n_{2m}\}$ araçların grafın temsil ettiği coğrafi alana girerken ya da çıkarken kullanmak zorunda oldukları noktaları, $C_1 = \{c_{11}, c_{12}, \cdots, c_{1n}\}$ talebin



Şekil 4.2: Düğümler, seçmeli ve zorunlu kenarlar.

geldiği yükleme noktalarını ve $C_2 = \{c_{21}, c_{22}, \cdots, c_{2n}\}$ yükleme bittikten sonra yüklerin gümrük işlemlerinin yapılacağı gümrük noktalarını temsil eden düğümlerin kümeleridir. Herhangi bir i aracı için n_{2i} düğümü aynı zamanda aracın daha sonraki değişmez rotasını belirleyen bir referans noktası olacaktır (**Şekil 4.2**).

Bu problemde herhangi bir i aracı, bir j müşterisinin talebini gerçekleştirmek üzere belirlendiğinde, bu eşleşmenin maliyeti n_{2i} düğümüne kadar yapılacak yolculukta katedilecek mesafe ve bu yolculuk sırasında yapılacak işlemlerle birlikte geçecek toplam zaman dikkate alınarak hesaplanır. i aracının j müşterisinin talebini gerçekleştirmek için katetmesi gereken toplam mesafe, d_{ij} aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$d_{ij} = d_{(n_{1i},c_{1j})} + d_{(c_{1j},c_{2j})} + d_{(c_{2j},n_{2i})} \tag{4.2}$$

Burada $(n_{1i}, c_{1j}), (c_{1j}, c_{2j}), (c_{2j}, n_{2i}) \in A$, $i = 1, 2, \cdots m$, $j = 1, 2, \cdots n$ ve $d_{(e,f)}$, $(e, f) \in A$ olmak üzere (e, f) kenarının uzunluğudur.

q_j, j talebinin taşınmasını istediği ürünlerin miktarını göstermektedir. i aracının kapasitesi Q_i ile gösterilir. Bir araç, ancak kapasitesi talebin belirlediği yük miktarını taşıyabilecek kadar yüksekse o talebe atanır.

$h(t)$'yi şöyle tanımlayalım:

$$\begin{aligned} h(t) \quad := \quad & \text{bir aracın sürüş süresi kısıtları dikkate alındığında,} \\ & t \text{ birim iş yapması için ihtiyaç duyacağı süre} \end{aligned} \tag{4.3}$$

ve $t_{(e,f)}$, $(e, f) \in A$ şöyle tanımlansın:

$$\begin{aligned} t_{(e,f)} \quad := \quad & \text{bir aracın } e \text{ düğümünü terketmeye hazır olduğu an ile} \\ & f \text{ düğümüne varması gereken an arasındaki süre} \end{aligned} \tag{4.4}$$

Tüm j müşterileri için $[a_{c_{1j}}, b_{c_{1j}}]$ ve $[a_{c_{2j}}, b_{c_{2j}}]$ ile gösterilen zaman pencereleri olacaktır. Eğer araçlar, talep edilen zamanlardan önce ya da sonra yükleme ve gümrük noktalarına ulaşırsa, ilgili müşteri için belirlenmiş ceza fonksiyonları ile hesaplanan bir maliyet, toplam faaliyet maliyetine eklenecektir. Eğer i aracının bir sonraki talebi, hizmet etmek için hazır olduğu an $t_{n_{1i}}$ ile gösterilirse:

$$t_{(n_{1i},c_{1j})} = b_{c_{1j}} - t_{n_{1i}} \tag{4.5}$$

$$t_{(n_{1i},c_{2j})} = b_{c_{2j}} - t_{n_{1i}} \tag{4.6}$$

olarak hesaplanır. Eğer aracın ν sabit hızıyla hareket ettiği kabul edilirse, i aracının j talebiyle eşleştirildiğinde, referans noktasına kadar sahip olduğu toplam süre (t_{ij}), şöyle hesaplanır:

$$t_{ij} = t_{(n_{1i},c_{2j})} + t_{c_{2j}} + h\left(\frac{d_{(c_{2j},n_{2i})}}{\nu}\right) \tag{4.7}$$

$t_{c_{1j}}$ ve $t_{c_{2j}}$, $i = 1, 2, \cdots m$; $j = 1, 2, \cdots n$ için hizmet sürelerini gösterir.

Eğer birim mesafe maliyeti α ve birim zaman maliyeti β ile gösterilirse, i aracının j talebiyle eşleştiği durumda oluşan maliyet (co_{ij1}) şu şekilde hesaplanır:

$$co_{ij1} = d_{ij} \cdot \alpha + t_{ij} \cdot \beta \tag{4.8}$$

Eğer j talebi için hizmet gecikmeyle başlarsa, bir ceza değeri (co_{ij2}) toplam maliyete eklenir. Erken ya da geç hizmet durumuna göre tüm talepler için uygun ceza fonksiyonları kullanılmalıdır. Her bir talep için ceza fonksiyonları $f_j(h_{ij} - t_{(n_{1i},c_{1j})})$, $j = 1, 2, \cdots, n$ ile gösterilir. Burada h_{ij}, i aracının j talebi için hizmete başlayabilmesi için gereksinim duyacağı toplam süredir:

$$h_{ij} = h\left(\frac{d_{(n_{1i},c_{1j})}}{\nu}\right) \tag{4.9}$$

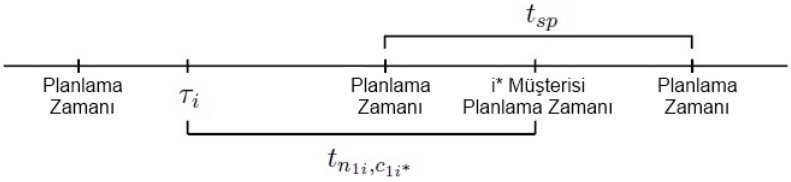
Bu durumda erken ya da geç servislerden kaynaklanan ceza maliyeti co_{ij2} şöyle hesaplanır:

$$co_{ij2} = x_{ij} \cdot f_j(h_{ij} - t_{(n_{1i},c_{1j})}) \tag{4.10}$$

j müşterisi için dış kaynak kullanabilme olasılığı pr_j ile verilir. Eğer j talebi için böyle bir olanak varsa bu olasılık 1, eğer böyle bir olanak yoksa 0 değerini alır. $m < n$ olduğu durumlarda, yani filodaki araçların tüm talepleri karşılayamayacak olduğu durumlarda dış kaynak kullanımı tüm taleplerin karşılanmasını sağlar. Dış kaynak kullanımının maliyeti, co_{j3}, söz konusu araca ödenen taşıma ücreti (navlun

ücreti) olacaktır.

Planlama yapıldıktan sonra eğer toplam araç sayısı talep sayısının üzerindeyse bazı araçlar planlanmamış olarak kalacaklardır. Bu planlanmamış araçların boş bekleme maliyetleri de hesaplanmalı ve modele dahil edilmelidir. Boş bekleme maliyeti co_{i4} ile gösterilsin. Eğer planlamalar t_{sp} zaman aralıklarında periyodik olarak yapılıyorsa, bir sonraki planlamanın başlama zamanı τ_{sp} ise ve i aracının yeni taleplere karşılık vermesi için hazır olduğu/olacağı zaman τ_i ile gösterilirse (**Şekil 4.3**), aracı bir sonraki planlama anına kadar boş bekletme maliyeti $\beta \cdot (\tau_{sp} - \tau_i)$ olacaktır. Aracı bir sonraki planlama faaliyetinde de boş bekletme olasılığı olacağı için bu maliyete eklenmesi gereken maliyetler olacaktır. n_{1i} düğümünde herhangi bir planlama periyodu içinde bir talep oluşması olasılığı p_i ile gösterilirse, planlanmayan aracın toplam maliyetleri şöyle hesaplanır:



Şekil 4.3: Planlama çizelgesi.

$$
\begin{aligned}
co_{i4} \;=\; & \beta \cdot (\tau_{sp} - \tau_i) + \left(1 - \prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\alpha \cdot E[d_{ii^*}] + \\
& \beta \cdot E[t_{ii^*} - (\tau_{sp} - \tau_i)]) + \left(\prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\beta \cdot t_{sp} + \\
& \left(1 - \prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\alpha \cdot E[d_{ii^*}] + \beta \cdot E[(t_{ii^*} + t_{sp}) - \\
& (\tau_{sp} - \tau_i + t_{sp})]) + \left(\prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) (\cdots))
\end{aligned}
\tag{4.11}
$$

$E[x]$, x rassal değişkeninin beklenen değerini gösterir. Bir aracın bulunduğu noktanın $\sigma -$ komşuluğu, bir sonraki planlama zamanını beklemektense, aracı yük olması durumunda yönlendirmenin daha avantajlı olacağı taleplerin bulunduğu yerleri içeren bölgedir. Bu komşuluk, aşağıdaki koşulu sağlayan $d_{(n_{1i},c_{1\iota})}$ mesafesi içinde kalan olası talep bölgelerini içerir:

$$co_{i4} \geq (d_{i\iota} \cdot \alpha + t_{i\iota} \cdot \beta) \tag{4.12}$$

n_{1i}'nin $\sigma -$ komşuluğu içinde, c_{1i^*} deterministik olarak bilinemeyeceği için, d_{ii^*} ve

t_{ii^*} rassal değişkenlerdir.

A şöyle tanımlansın:

$$A = \beta \cdot t_{sp} + \left(1 - \prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\alpha \cdot E[d_{ii^*}] + \beta \cdot E[(t_{ii^*} + t_{sp}) - (\tau_{sp} - \tau_i + t_{sp})]) + \left(\prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\cdots) \quad (4.13)$$

Buradan,

$$A = \beta \cdot t_{sp} + \left(1 - \prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\alpha \cdot E[d_{ii^*}] + \beta \cdot E[(t_{ii^*} + t_{sp}) - (\tau_{sp} - \tau_i + t_{sp})]) + \left(\prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot A \quad (4.14)$$

bulunur ve A bu ifadede çekilir ve sadeleştirmeler yapılırsa:

$$A = \frac{\beta \cdot t_{sp}}{1 - \prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})} + \alpha \cdot E[d_{ii^*}] + \beta \cdot E[(t_{ii^*}) - (\tau_{sp} - \tau_i)] \quad (4.15)$$

Buradan co_{i4} şöyle hesaplanır:

$$co_{i4} = \beta \cdot (\tau_{sp} - \tau_i) + \left(1 - \prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_{i^*})\right) \cdot (\alpha \cdot E[d_{ii^*}] + \beta \cdot E[t_{ii^*} - (\tau_{sp} - \tau_i)]) \left(\prod_{n_{1i^*} \in \sigma - kom.} (1 - p_i^*)\right) \cdot A \quad (4.16)$$

Araçları planlarken araçların sahip oldukları teknik özellikler ve bu özelliklere ilişkin taleplerin doğru eşleştirilmesi de önemlidir. Örneğin yükleme noktaları salt aracın yandan yüklenmesine uygun olabilir ya da yüklemesi yapılacak ürünler için özel donanım gereksinimi söz konusu olabilir. Ya da sürücülerin tehlikeli madde taşıması için ADR ehliyetine sahip olması istenebilir. Araçların herhangi bir k özelliğini sağlayıp sağlamadığı ν_i^k değişkeni ile ve taleplerin k özelliğini talep edip etmediği de γ_j^k değişkeni ile ifade edilsin ($k = 1, 2, \cdots, \kappa$). Bu iki değişken ile taleplerin ve araç özelliklerinin uyuşması sağlanacaktır.

Tüm bu değişkenleri ve kısıtları içeren Araç Planlama Problemi modeli şöyle

oluşacaktır:

$$\text{min} \quad \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij}(co_{ij1} + co_{ij2}) + \sum_{j=1}^{n} y_j co_{j3} + \sum_{i=1}^{m}((1 - \sum_{j=1}^{n} x_{ij})co_{i4}) \tag{4.17}$$

$$\text{kısıtlar} \quad \sum_{i=1}^{m} x_{ij} + y_j = 1 \qquad j = 1, 2, \cdots, n \tag{4.18}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq 1 \qquad i = 1, 2, \cdots, m \tag{4.19}$$

$$\sum_{j=1}^{n} (x_{ij} q_j) \leq Q_i \qquad i = 1, 2, \cdots, m \tag{4.20}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \gamma_j^k = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \nu_i^k \gamma_j^k + \sum_{j=1}^{n} y_j \gamma_j^k \qquad k = 1, 2, \cdots, \kappa \tag{4.21}$$

$$y_j \leq p_j \qquad j = 1, 2, \cdots, n \tag{4.22}$$

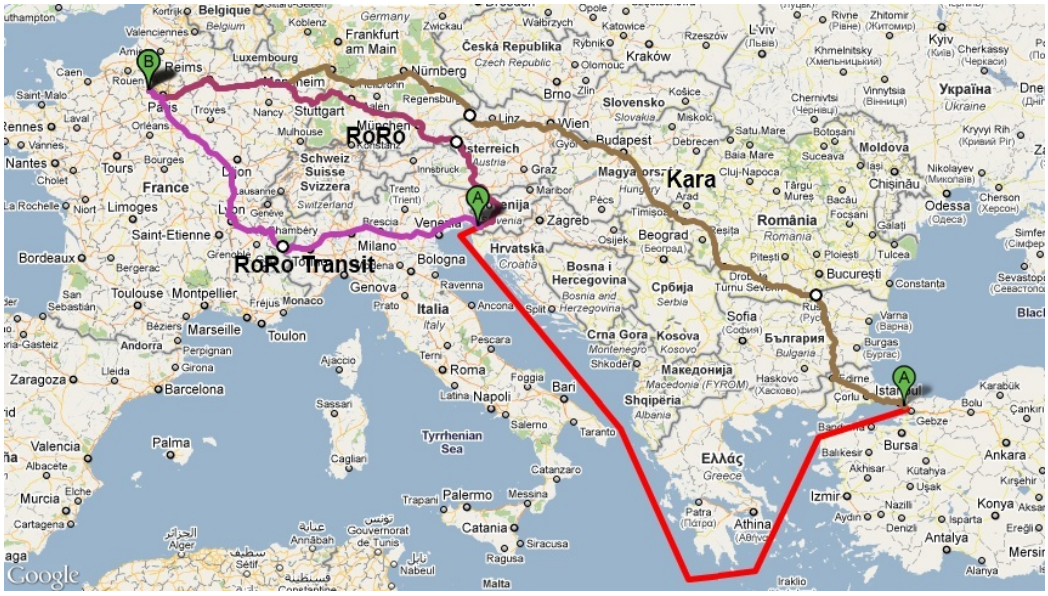
$$x_{ij}, y_{ij} \in \{0, 1\} \tag{4.23}$$

Bu modelde (4.18) eşitliği ile tüm taleplerin bir ve yalnız bir araç tarafından hizmete sunulacağı kısıtı karşılanır. Bu araçlar, işletilen filoya ya da dış kaynaklara ait olabilir. (4.19) eşitsizliği bir aracın birden çok talebe planlanmasını engeller. (4.20) eşitsizliği, talep edilen araç kapasitesinin planlanan araç kapasitesinden yüksek olmasını engeller. (4.21) eşitliği planlanan araçların özellikleri ve talep edilen özelliklerin uyuşmasını sağlar. (4.22) eşitsizliği eğer talep noktasında dış kaynak kullanımı olanaklı değilse, dış kaynak kullanımının engellenmesini sağlar.

Geliştirilen model, gerçek bir taşıma problemi üzerinde test edilecektir. Problem rassal yöntemlerle oluşturulacak, ardından model kullanılarak çözüme ulaşılacaktır.

Çözümü aranacak problemde taşımacılık operasyonları, tenteli yarı römorklar ve çekicilerle Türkiye ve Fransa arasında gerçekleştirilmektedir. Üç rota dikkate alınacaktır. Birinci rotada salt karayolu taşıma modu kullanılırken, ikinci ve üçüncü rotada hem karayolu hem denizyolu taşıma modları kullanılmaktadır. İkinci ve üçüncü rotada denizyolu ile Türkiye'den harekete geçen yükler, İtalya'da Trieste Limanı'na taşınmaktadır. Limandan boşaltma noktasına kadar karayolu taşımacılığı yapılacaktır. İkinci rotada İtalya, Avusturya, Almanya ve Fransa güzergâhı kullanılırken, üçüncü rotada İtalya ve Fransa güzergâhı kullanılacaktır (**Şekil 4.4**). Sürücülürle iletişim ve araç konumlarının saptanması için kullanılan bir telematik sistem vardır. Bu telematik sistem, merkezî birimde bilgisayarlarda kurulu bir yazılım ve araçlarda kullanılan ve metin tabanlı mesajlar ile konum bilgisi gönderebilen bir donanımdan oluşmaktadır (**Şekil 4.5**).

Modeli test etmek için aşağıdaki varsayımlardan hareketle elde edilecek bir problem

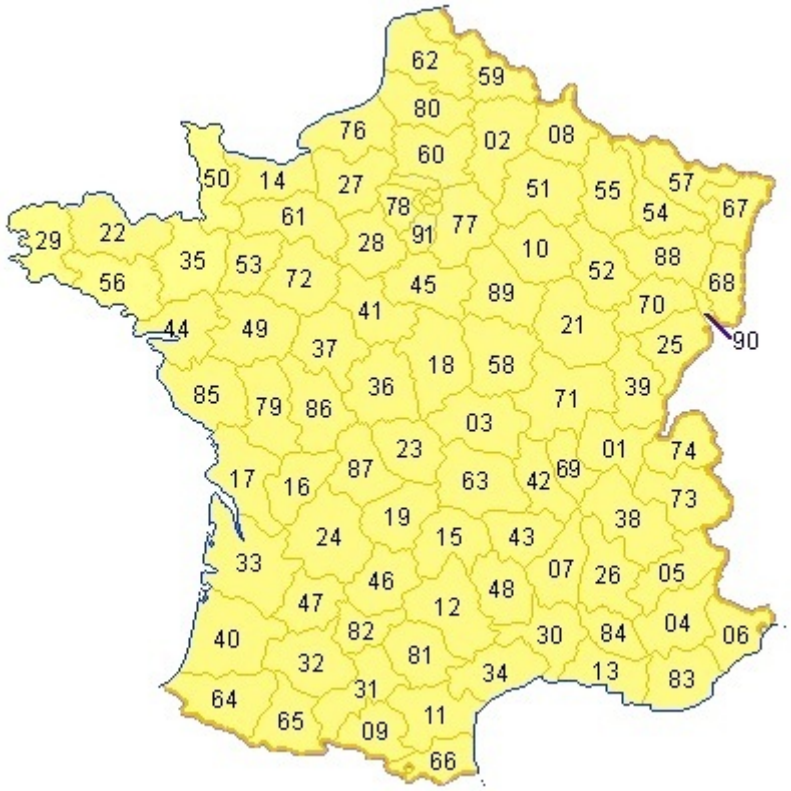


Şekil 4.4: Kullanılan rotalar.

Şekil 4.5: İletişim ve konum bilgisi için kullanılan cihaz.

oluşturulacaktır:

- Teslim noktaları ve talepler Fransa'nın bölgeleri arasından rassal olarak seçilecektir. Fransa resmî olarak 95 metropolitan bölgeye bölünmüştür (**Şekil 4.6**). Taleplerin bu metropolitan bölgelerden herhangi birinin merkezinden geldiği düşünülecektir. Bu bölgelerden 20. bölge dışarıda tutulacaktır. Fransa'nın 20. metropolitan bölgesi Akdeniz'de bir ada olan Korsika'dır ve doğal olarak bu bölgeye karayolu taşıması yapmak olanaklı değildir. Bölgeleri ifade etmek için bölgelerin isimleri yerine F harfiyle birlikte bölge numarası kullanılacaktır. Yani $F01$ Fransa'nın 1 nolu metropolitan bölgesi Bourg-en-Bresse'yi ifade etmektedir. $\mathbf{x}(c_{ma})$ verilen c_{ma} metropolitan bölgesi için bir talep ya da teslim noktası bulunma olasılığını göstersin. Öyleyse;



Şekil 4.6: Fransa'nın metropolitan bölgeleri.

$$\mathbf{x}(c_{ma}) = \mathbf{x}(c_{ma_i}), \quad \forall c_{ma_i} \in \{\text{F20 dışında Fransa metropolitan bölgeleri}\} \tag{4.24}$$

x ayrık düzgün dağılıma sahiptir ve olaslık fonksiyonu şöyle ifade edilir;

$$\mathbf{x}(c_{ma_i}) = \frac{1}{94}, \quad \forall c_{ma_i} \in \{\text{F20 dışında Fransa metropolitan bölgeleri}\} \tag{4.25}$$

- Gümrük işlemlerinin yapılacağı gümrük ofisleri 0,5 olasılıkla yükleme noktalarıyla aynı yerde, 0,5 olasılıkla F20 dışında Fransa'nın diğer metropolitan

bölgelerinde olacak şekilde konumlandırılacaktır. $\mathbf{y}(c_{ma})$, c_{ma_p} bölgesinde yüklemesi yapılacak bir talebin herhangi bir c_{ma} bölgesinde gümrük işlemlerini yapmasının olasılığı olsun. Öyleyse **y** şöyle tanımlanır;

$$\mathbf{y}(c_{ma}) = \begin{cases} \dfrac{1}{186} & c_{ma} \in \{\text{F20 ve } c_{ma_p} \text{ dışında Fransa'nın metropolitan} \\ & \text{bölgeleri}\} \\ \dfrac{1}{2} & c_{ma} = c_{ma_p} \end{cases} \tag{4.26}$$

- Kapasitelerine göre 4 farklı araç olduğu kabul edilecektir. Kapasitesi en yüksek aracın kapasitesi 1 ile gösterilecektir. Kapasitesi daha düşük olan diğer araçların ilk araca göre %10, %20 ve %30 daha az kapasiteye sahip olduğu kabul edilecek ve kapasiteleri sırasıyla 0,9, 0,8 ve 0,7 olacaktır. Bir n_{1i} aracının kapasitesine göre hangi türde olduğu rassal olarak belirlenecektir. n_{1i} aracının q_i kapasitesine sahip olma olasılığı $\mathbf{z}(q_i)$ fonksiyonu ile verilsin. Öyleyse **z** fonksiyonu ayrık düzgün dağılımdadır ve şöyle ifade edilir:

$$\mathbf{z}(q_i) = \frac{1}{4}, \qquad \forall q_i \in \{0.7, 0.8, 0.9, 1.0\} \tag{4.27}$$

- Yüklenmesi talep edilen miktar rassal olarak belirlenecektir. Araçlarda kullanılan ölçeğin aynısı kullanılacaktır. 1 birimlik talep, 1 birimlik kapasiteye sahip aracı tamamen dolduracak yüke denk gelmektedir. Yük miktarını gösteren değerin çok küçük olmaması için belirlenecek değerler 0,25 birim ile 1 birim arasında olacaktır. Herhangi bir c_{1i} talebi için d_{q_i} birim ve üstü yük yüklenmesinin talep edilme olasılığı $\mathbf{v}(d_{q_i})$ ile gösterilsin. **v** sürekli düzgün dağılımdadır ve şöyle ifade edilir:

$$\mathbf{v}(d_{q_i}) = \begin{cases} 1, & d_{q_i} < 0.25 \\ \frac{1-d_{q_i}}{0.75}, & 0.25 \leq d_{q_i} \leq 1 \end{cases} \tag{4.28}$$

- Araçların beş farklı özelliği sağlayıp sağlamadığı belirlenecektir:
  - Bir araç kara ya da RoRo güzergâhını kullanabilir.
  - Bir yarı römork yandan açılabilir ya da açılamaz.
  - Bir yarı römork üstten açılabilir ya da açılamaz..
  - Bir yarı römork standart olarak 2,70 metre yüksekliğindeyken, ihtiyaç duyulduğunda 3 metre yüksekliğe çıkarılabilir ya da çıkarılamaz.
  - Bir sürücü, tehlikeli madde taşımak için ADR ehliyetine sahiptir ya da değildir.

Her bir özelliğin sağlanıp sağlanmadığı, 1 ya da 0 değerini alan bir değişken ile belirlenir. Bu değişkenin değerini belirlemek için Binom dağılımına sahip bir olasılık fonksiyonu kullanılacaktır.

- Müşterilerin araç özelliklerine dair talepleri rassal olarak belirlenir. Binom dağılımına sahip bir olasılık fonksiyonu kullanılır ve 1 değeri özelliğin talep edildiğini, 0 değeri özelliğin yükleme için önemi olmadığını gösterir.
- Hizmetin gerçekleştirilmesinin talep edildiği zaman pencereleri rassal olarak belirlenecektir. Her biri günün belli zamanlarını gösteren ayrık değerlerden oluşan bir kümeden rassal olarak seçilecektir. Araçların bir sonraki hizmete hazır olacakları süre günün her anını temsil eden sürekli bir aralıktan rassal olarak seçilecektir.
- Çalışma saatleri için AB ülkelerinde uyulması gereken kuralların sadeleştirilmiş bir hali kullanılacaktır. Her araç, en fazla 9 saat aralıksız sürüş yaptıktan sonra 11 saat dinlenmek zorundadır.
- Bir talebin dış kaynakla karşılanıp karşılanamayacağı, binom dağılımına sahip bir olasılık fonksiyonu yardımıyla rassal olarak belirlenecektir. Eğer söz konusu talep için dış kaynak kullanımı olasılığı varsa, ilgili değişken 1 değerini, yoksa 0 değerini alır.
- Bir metropolitan bölgede herhangi bir planlama ufku içinde yük bulma olasılığı $[0, 1]$ aralığında bir değerdir. Tüm bölgeler için bu değer rassal olarak belirlenecektir.
- Her bir n_{1i} aracı için boş bekletme maliyeti, $co_{i4}(\tau_i)$, önceden hesaplanacaktır. Bu değerler bölgeye bağlı değerlerdir ve bir bölgede beklemenin maliyeti, o bölgede ve çevresinde yük bulma olasılıkları dikkate alınarak hesaplanır. Bu olasılıklar, planlamadan planlamaya değişmezler. Ancak uzun vadede değişiklikler olur. Planlama ufkundan daha geniş periyotlarla bu değerler güncellenirler. Bu nedenle bir bölgede boş bekleme maliyeti statik bir değerdir, taleplerin ya da araçların yerleri ya da diğer özellikleriyle bu değerler değişmez.
- Birim mesafe maliyeti, α, akaryakıt ve bakım maliyetleri dikkate alınarak; birim zaman maliyeti, β, demoraj ve diğer giderler dikkate alınarak konunun uzmanlarınca belirlenirler.
- Araçların ortalama hızları ve dış kaynak kullanım maliyeti sabit değerler olarak alınacaktır.

Tüm bu kurallar ve kabullerle test amaçlı oluşturulan problem için belirlenen değerler **Çizelge 4.1** ve **Çizelge 4.2**'de görülmektedir.

Çizelge 4.1: Araçlarla ilgili değişken değerleri.

Bölge	Çıkış	Boşa Çıkış Saati (i günü)	Kapasite	Planlanmama Maliyeti	ADR?	Kara	Çatısı Açılıyor mu?	Çatısı Yükseliyor mu?	Yandan Açılıyor mu?
F78	F67	15:46	1.0	538	1	1	1	1	0
F39	F59	09:04	1.0	601	1	1	1	0	1
F19	F67	12:53	1.0	622	1	1	1	1	1
F52	F59	13:33	0.8	622	1	0	1	1	1
F75	F67	17:39	1.0	535	0	0	1	1	1
F95	F67	14:28	0.8	610	1	1	1	1	1
F10	F67	08:11	0.7	624	0	1	1	1	0
F15	F67	11:00	0.7	656	1	1	1	1	1
F58	F67	11:44	0.8	588	1	1	1	1	1
F68	F67	14:50	1.0	606	0	1	1	0	1
F03	F13	08:22	1.0	606	0	1	1	0	1
F35	F67	12:52	0.9	603	1	1	1	1	1
F70	F67	17:11	0.8	577	1	1	1	0	0
F71	F67	14:33	0.9	584	1	0	1	1	1
F77	F67	14:43	0.9	565	0	1	1	1	1
F88	F67	16:29	1.0	602	1	1	1	1	1
F15	F67	13:31	0.9	656	1	0	1	1	1
F88	F59	16:51	1.0	602	1	1	1	1	1
F80	F13	11:48	0.7	616	1	1	1	1	1
F82	F59	15:19	1.0	586	1	1	1	1	1

Çizelge 4.2: Taleplerle ilgili değişken değerleri.

Bölge	Gümrük	Yükleme Saati ($i+1$ günü)	Talep	Dış Kaynak Olasılığı	ADR?	Kara	Çatısı Açılıyor mu?	Çatısı Yükseliyor mu?	Yandan Açılıyor mu?
F86	F86	16:00	0.77	1	1	0	0	1	0
F87	F87	16:00	1.00	1	1	0	0	0	1
F66	F66	11:00	1.00	1	0	1	0	1	0
F12	F38	15:00	0.51	1	1	0	1	0	0
F51	F51	06:00	1.00	1	0	1	1	0	1
F34	F34	11:00	1.00	0	1	1	0	1	0
F87	F87	10:00	1.00	1	0	0	0	1	1
F57	F03	10:00	1.00	1	0	0	1	1	0
F46	F46	13:00	0.30	1	0	0	0	1	1
F30	F30	17:00	1.00	1	0	0	1	0	1
F77	F77	15:00	0.55	0	0	0	0	0	0
F38	F52	15:00	1.00	1	0	0	1	0	0
F90	F90	16:00	1.00	0	1	1	0	0	1
F05	F05	17:00	0.42	0	1	0	0	0	0
F68	F68	16:00	0.38	1	0	0	0	0	0
F04	F04	15:00	0.43	1	0	1	0	1	0
F16	F23	11:00	0.64	0	1	1	0	1	0
F13	F13	11:00	1.00	1	0	0	0	0	0
F10	F10	17:00	1.00	1	0	0	0	0	1
F18	F33	08:00	1.00	1	0	0	0	0	0

Model The General Algebraic Modeling System (GAMS - Genel Cebirsel Modelleme Sistemi) ile çözülecektir. GAMS karmaşık yöneylem modellerinin çözümü için kullanılan yüksek seviyeli bir dildir.

GAMS için hazırlanan girdi dosyası EK A'da görülebilir.

Program Intel Core 2 Duo 1.83 GHz işlemci ve 2.00 GB hafızaya sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Tüm kabuller ve hesaplanan değişkenler ile, 20-20 probleminin çözümü **Çizelge 4.3**'de ve farklı büyüklükteki problemler için elde edilen sonuçlar **Çizelge 4.4**'de gösterilmiştir.

GAMS bu tür modelleri test etmek için uygun bir araçtır ancak geliştirilen modelin kullanışlı olabilmesi için farklı bir uygulama geliştirilmelidir. GAMS'ın neden iyi bir tercih olmadığı şöyle özetlenebilir:

- GAMS'ın girdi dosyası özel komutlar içerir ve bu komutların bilinmesini gerektirir. Değişik kaynaklardan toplanan veri, uygun notasyonla bir girdi dosyası oluşturacak şekilde düzenlenmelidir.
- Tüm uzaklıklar, sınırlı sayıda uzaklığın yer aldığı bir mesafe tablosu yardımıyla hesaplanır. Kesin konumlar yerine yaklaşık konumlar kullanılır. Bu yaklaşım her ne kadar sonucu önemli ölçüde etkilemese de, mesafelerin hesaplanmasında tam konumların ve güncel yolların kullanılabileceği yaklaşımlar mevcuttur.
- GAMS'ın girdi ve çıktı ekranları kullanıcı dostu değildir.
- Sonuçların aktarılabileceği bir görsel yapı söz konusu değildir. Konumlar ve rotalar bir harita üzerinde gösterilemeyecektir.

Tüm bu nedenlerden dolayı GAMS'ın operasyonel düzeyde kullanımı verimli olmayacaktır. Verilerin girdisinde ve sonuçların görüntülenmesinde daha kullanıcı dostu ve estetik bir araç geliştirilmelidir. Bu noktada çözüm olarak Web Tabanlı Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılacaktır.

4.2. Macar Algoritması

Araç Planlama Problemi sadece komple yüklerle ilgilendiği için, diğer bir deyişle her talebe bir ve yalnız bir araç atanmasını gerektirdiği için Atama Probleminin özel bir halidir. Atama Problemi en ünlü kombinatoryal optimizasyon problemlerinden biridir. Amaç, taşıma problemlerine uyarlanarak ifade edilirse, n aracın n taleple en düşük maliyetle eşlenmesidir. Atama Problemleri'nde kesin çözüm veren algoritmalar mevcuttur. Macar Algoritması bu tür problemlerin çözümünde kullanılan ve kesin çözüm veren algoritmaların başında gelmektedir. Macar Algoritması ilk kez Harold

Çizelge 4.3: GAMS ile 20-20 Problem Çözümü.

Araç	Talep
F78	F77
F39	F87
F19	F34
F52	F57
F75	F10
F95	Planlanmayan Araç
F10	Planlanmayan Araç
F15	F12
F58	Planlanmayan Araç
F68	F13
F03	F38
F35	F86
F70	F68
F71	F05
F77	Planlanmayan Araç
F88	F90
F15	F30
F88	F51
F80	F04
F82	F16
Dış Kaynak	F66
Dış Kaynak	F87
Dış Kaynak	F46
Dış Kaynak	F18

Çizelge 4.4: Model test sonuçları.

m	n	Planlanan Araç Sayısı	Dış Kaynak Araç sayısı	Çözüm Süresi (saniye)
20	15	12	3	0.001
20	20	16	4	0.001
20	25	17	8	0.001
50	40	37	3	0.015
50	50	44	6	0.016
50	60	50	10	0.016
80	60	54	6	0.016
80	80	70	10	0.031
80	100	80	20	0.047

Kuhn tarafından 1955 yılında geliştirilmiştir. 1957 yılında James Munkres [55] algoritmayı geliştirerek "Taşıma ve atama problemleri için algoritmalar" isimli makalesinde algoritmaya son halini vermiştir.

Talep ve kaynak sayısının eşit olmadığı problemler Dikdörtgensel Atama Problemi olarak adlandırılır. Bijsterbosch ve Volgenant [56] Dikdörtgensel Atama Problemi için kullanılan algoritma için geliştirme önerilerinde bulunmuşlardır. m araç ve n talepten oluşan Araç Planlama Problemini bu algoritmayla çözebilmek için, probleme $m > n$ ise $m - n$ geçici araç, $n > m$ ise $n - m$ geçici talep eklemek gerekir. Eklenmiş araç ya da talepler gerçekte olmayan fakat algoritmanın kullanılmasını sağlamak için eklenen araç ya da taleplerdir. $m > n$ olduğunda $n + 1., \cdots, m.$ talepler herhangi bir araçla eşlendiğinde, bu eşleşme ilgili aracın boş bekletilmesi gerektiğini ifade eder. Aynı şekilde $n > m$ olduğunda $m + 1., \cdots, n.$ talepler herhangi bir araçla eşlendiğinde ilgili talebe bir araç atanamayacağı anlamı çıkarılır. Atama problemi Macar Algoritmasıyla çözülürken problem, satırları kaynakları sütunları ise talepleri (ya da tam tersi) temsil eden ve her bir (i, j) elemanı $i.$ kaynağın $j.$ talebe atanması durumunda oluşacak maliyeti gösteren bir matris şeklinde ifade edilir. Araç Planlama Probleminde bu matris elemanları şöyle hesaplanacaktır:

- $i \leq m$ ve i satırı filoya ait bir aracı temsil ediyorsa ve $j \leq n$ ise maliyet $co_{ij1} + co_{ij2}$ yani zamana ve yola bağlı maliyetler ile geç kalma maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanır. Eğer araç özellikleri arasında talep edilen özellikler yer almıyorsa maliyet olarak yeterince yüksek bir değer belirlenir ve böylelikle talepleri karşılayamayan araç atamalarının önüne geçilir.

- $i \leq m$ ve i satırı dış kaynak aracını temsil ediyorsa ve $j \leq n$ ise maliyet co_{ij3} yani dış kaynak kullanım ücreti olur.

- $i \leq m$ ve i satırı filoya ait bir aracı temsil ediyorsa ve $j > n$ ise maliyet co_{ij4} yani aracın boş bekleme maliyeti olur.

- $i \leq m$ ve i satırı dış kaynak aracını temsil ediyorsa ve $j > n$ ise maliyet 0'dır yani dış kaynak kullanılmamaktadır.

- $i > m$ ve $j \leq n$ ise maliyet talebe karşılık verememe yani prestij kaybı maliyetidir. Bu maliyet nesnel olarak ölçülemez ancak talepler için yeterli araç bulunmadığı durumlarda hangi talebin karşılıksız bırakılacağını seçmek için bu maliyetlere uygun değerler yazılır.

Eğer atama problemi $n \times n$ boyutlarında bir A matrisi ile ifade edilirse Macar Algoritması şu adımlardan oluşur:

1 A matrisinin satırlarındaki en düşük değere sahip elemanını bul ve satırdaki tüm değerlerden çıkar. Ardından aynı işlemi sütunlar için yap.

2 Her satır ve her sütunda sadece bir tane seçilmiş 0 olacak şekilde matriste seçilebilecek en fazla 0'ı seç.

2.1 Seçilmiş 0 bulunmayan satırları işaretle. Eğer işaretlenecek satır yoksa Adım 3'ten işlemi sürdür.

2.2 İşaretlenmiş satırlarda 0 bulunan sütunları işaretle. İşaretlenecek sütun yoksa Adım 3'ten işlemi sürdür.

2.3 Adım 2.2'de işaretlenmiş sütunlarda seçilmiş 0 bulunmayan sütun varsa Adım 2.4'e, yoksa Adım 2.5'e git.

2.4 Adım 2.2'de işaretlenmiş sütunlarda seçilmiş 0 bulunmayan sütun varsa bu sütuna sütun j adını ver.

2.4.1 Sütun j'de bulunan bir 0'ı seçilmiş 0'lara ekle. Seçilen 0'ın bulunduğu satır işaretlenmemiş ise tüm işaretlenmiş satır ve sütunlardan işaretlenmeleri kaldır ve Adım 2.1'ye dön.

2.4.2 Seçilmiş 0'lara eklenen 0'ın bulunduğu satırdaki seçilmiş 0 değerini seçilmiş 0'lar listesinden kaldır. Bu 0'ın bulunduğu sütunu yeni j sütunu yap ve Adım 2.4.1'e dön.

2.5 İşaretlenmiş sütunlarda seçilmiş 0'ların bulunduğu ve işaretlenmemiş satırları işaretle.

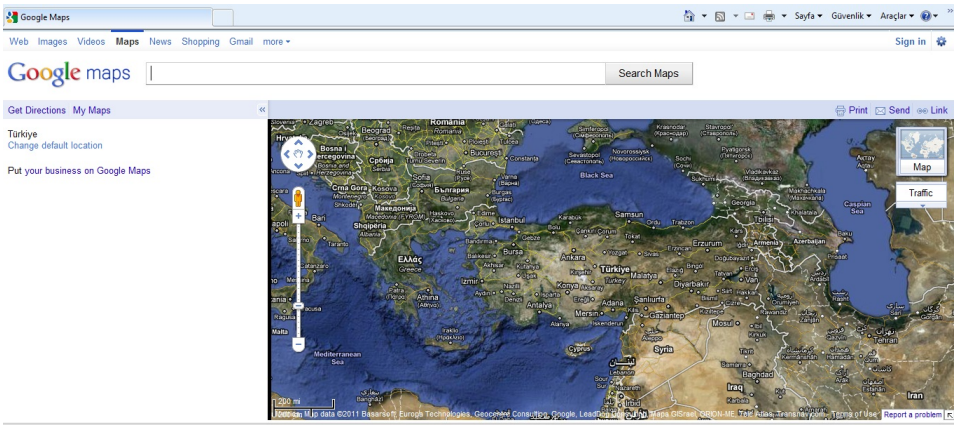
3 Eğer seçilen sıfır sayısı n'ye eşitse seçilen 0'lar en uygun satır-sütun eşleşmesini temsil eder. Seçilen 0 sayısı n'den küçükse seçilen 0'ların bulunduğu satır ve sütunları göz ardı ederek matristeki en küçük değeri bul. Göz ardı edilmiş kısımdaki tüm değerlerden bu değeri çıkar. Satırında ve sütununda aynı anda seçilmiş sıfır bulunan değerlere en küçük değeri ekle. Yeni A matrisiyle Adım 1'e dön.

4.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Google Maps

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanıcıların coğrafi verilere erişebildikleri, bu verileri işleyebildikleri ve haritalar üzerinde görselleştirebildikleri bilgi sistemleridir. Son birkaç yıl içinde web tabanlı CBS'lerin sayısında ciddi bir artış yaşanmıştır. Web tabanlı CBS'ler programlanabilir yapıları nedeniyle de gereksinime göre özelleştirilibilirler. Google Maps, Yahoo Maps, Microsoft Virtual Earth ve MapQuest, bu sistemlerin en popülerleridir. Bu sistemler programcılar için geliştirdikleri

Uygulama Kullanıcı Arayüzleri (Application User Interfaces-APIs) ile kullanıcılara kendi özgün CBS'lerini yaratma olanağını da sunmaktadırlar.

Araç Planlama Problemi için girdi verisini oluşturmak ve kullanıcı dostu bir arayüz hazırlamak amacıyla Google Maps altyapısı kullanılarak bir CBS hazırlanacaktır. Google Maps hizmeti Google Inc. tarafından sunulmaktadır (**Şekil 4.7**). Google Maps kullanılarak aranılan yer bulunabilir, yön bilgileri alınabilir, gerçek zamanlı trafik bilgisi elde edilebilir ya da benzeri bazı diğer işlemler gerçekleştirilebilir. Google Maps Javascript API V3 şu ana kadar geliştirilmiş en son ve kararlı Google Maps programlama aracıdır ve CBS geliştirilirken de bu araç kullanılacaktır.



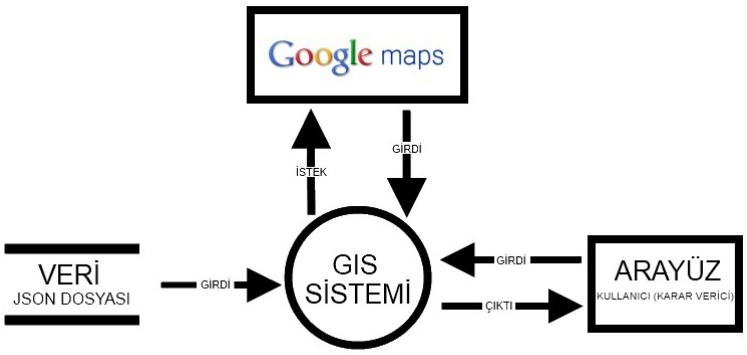
Şekil 4.7: Google Maps Anasayfa.

Google Maps Javascript API V3, Google'ın sunduğu CBS hizmetlerinin programlanması için kullanılan programlama aracıdır. Bu araç, Javascript dilinin bir uzantısı şeklinde hazırlanmıştır. Javascript dinamik web sayfaları hazırlamak için HTML kodunun içine gömülen bir betik dildir. Google Maps Javascript API V3 kullanılarak Google Maps tarafından sağlanan bilgiler ile dinamik web tabanlı CBS'ler oluşturulabilir.

Google Maps Javascript API V3, şu gibi işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlar:

- Haritaların biçimlendirilmesini, harita stilleri ve türlerinin değiştirilmesini ya da belli coğrafi verilerin öne çıkarılmasını.
- Yön ve rota sorgularının çalıştırılmasını, böylelikle yön bilgileri, güzergâh ya da seyahat sürelerinin hesaplanmasını.
- Belli bir rota boyunca rakımın hesaplanmasını ya da sokak görünümünün elde edilmesini.
- Dış kaynaklardan ya da sorgulardan elde edilen verilerin gösterilmesini.

Geliştirilecek CBS'nin yapısı **Şekil 4.8**'de görülmektedir. Bu sistemin geliştirilmesi için gerekli adımlar kısaca şöyle sıralanabilir:



Şekil 4.8: Veri akışı.

1. *Statik Verinin Saklanması:* İlk adım, statik verilerin saklanacağı ortama karar vermektir. Yükler ve araçlara dair bazı veriler önceden belli iken bazı verilerin model her çalıştırıldığında yeniden hesaplanması gerekmektedir. Hâlihazırda bilinen yani statik olan veri ayrı bir dosyada saklanacaktır. Uygulama veriye gereksinim duyduğunda, bu dış dosyaya erişecektir. Bilgisayar uygulamaları için veri saklamanın farklı yöntemleri vardır. Verinin boyutuna göre farklı yaklaşımlar benimsenebilir. Küçük veriler program içinde tanımlanan sabitlerde tutulabilecek iken, daha büyük veriler Extensible Markup Language (XML - Genişletilebilir İşaretleme Dili) ile ayrı bir dosyada, Javascript Object Notation (JSON - Javascript Nesne Notasyonu) ile XML'e benzer bir kullanımla saklanır ya da çok büyük veriler için veritabanları kurulur. Araç Planlama Problemi için depolanması gereken veri ne değişkenlerde saklanabilecek kadar küçüktür ne de veritabanında saklanacak kadar büyüktür. Doğru veri saklama teknolojileri XML ve JSON olacaktır. JSON veri saklama notasyonu Javascript üzerinden geliştirilmiştir ve XML'e göre daha yeni bir yöntemdir. JSON, Javascript uygulamaları tarafından işlenmesi daha kolay olan bir veri değişim formatıdır. JSON metin tabanlı ve programdan bağımsız bir yapıya sahiptir. Bu da salt Javascript ile değil, birçok programlama dili ile uyumlu çalışacağı anlamına gelir. Veri saklamak için hem XML hem de JSON seçilebilecekken, uygulamanın Javascript ile kodlanacağı düşünülerek ve aşağıdaki nedenlerden dolayı CBS tasarımında statik veriyi saklamak için JSON kullanılacaktır:

    - JSON anlaşılması daha basit bir notasyondan oluşur. Akla yatkın bir yapıya sahiptir ve göreceli olarak daha az bir çaba ile ustalık kazanılabilir.
    - JSON Javascript altyapsına dayanır ve Javascript koduyla daha uyumlu

çalışır. Google Javascript API kullanılacağı için, JSON açık bir şekilde daha makul bir tercihtir.

- JSON birçok veri tipini (metin, sayı, boole tipi -doğru ya da yanlış değerlerinden birini alan- vb.) destekler.

Veri, ad ve sıralı olmayan değer ikililerinden oluşan ve nesne adı verilen yapılarda depolanacaktır. Örneğin bir araç; plaka, sürücü, rota, teknik özellikler gibi adlar ile bunların aldığı değerlerden oluşan bir nesneyle ifade edilebilir. Bir nesne şu notasyonla tanımlanır:

$$\{isim1 : değer1 \ , isim2 : değer2 \ , \cdots \} \tag{4.29}$$

Bir dizi sıralı değerler kümesidir:

$$[değer1 \ , değer2 \cdots \ ] \tag{4.30}$$

Veri JSON dosyasının içine yerleştirildikten sonra Javascript koduyla veriye erişmek için HTML dosyasının HEAD kısmına aşağıdaki satır eklenir:

$$< \text{script type} = \text{“text/javascript" src} = \text{“dosya_ismi.json"} >< /\text{script} > \tag{4.31}$$

Bu eklemenin ardından, kod içinde doğrudan atıfta bulunularak veri kullanılabilir.

2. *Dinamik Veri Erişimi:* Gereksinim duyulan dinamik veri için Google Maps'a sorgular gönderilecektir. Mesafe bilgileri yön sorguları ile elde edilecektir. Bir yön sorgusu Google Maps'in sunucuları tarafından değerlendirilir ve yön, mesafe, rota gibi bilgilerin elde edildiği bir parametreler kümesinden oluşur. Bir sorgu temelde bir geri çağırma fonksiyonudur. Google Maps Javascript API V3'de geri çağırma fonksiyonları Google Maps'ın metodlarının istemci tarafından tetiklenmesi ve sonuç üretilmesi için kullanılır. Sorgunun bazı parametreleri şöyledir:

   - **origin:** Oluşturulacak rotanın başlangıç noktasıdır. Enlem, boylam bilgileri ya da metin olarak girilmiş adres bilgileri kullanılabilir.
   - **destination:** Oluşturulacak rotanın bitiş noktasıdır. Enlem, boylam bilgileri ya da metin olarak girilmiş adres bilgileri kullanılabilir.
   - **travelMode:** Rotanın nasıl katedileceğini gösteren ifadedir. Kullanılabilecek değerler arasında "DRIVING","WALKING" ve "BICYLING" bulunur. Bu değerler, sırasıyla rota sürüş yaparak, yaya olarak ve bisikletle katedileceği zamanlarda kullanılır.

- **waypoints[]:** Rota üzerinde başlangıç ve bitiş noktaları dışında uğranacak noktalar varsa, bu noktalar ara duraklar olarak girilebilir. İstenirse Gezgin Satıcı Algoritması kullanılarak ara duraklar, en kısa rotayı verecek şekilde düzenlenir ya da herhangi bir istek belirtilmezse ara duraklar, girildiği sırayla rotaya yerleştirilir.

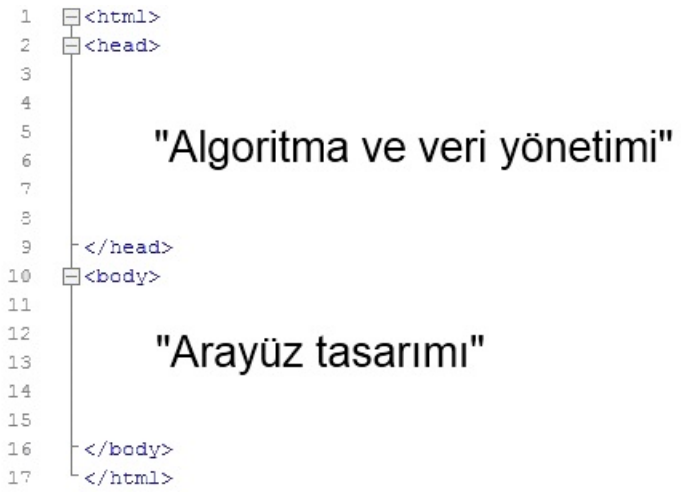
Bir yön sorgusu şöyle oluşturulur:

```
1: var distance;
2: var directionsService= new google.maps.DirectionsService();
3: var request= {
4:       origin : çıkış noktası,
5:       destination : hedef,
6:       waypoints[] : [araDurak1 , araDurak2 , ··· ],
7:       travelMode : google.maps.TravelMode.DRIVING
8: };
9: directionsService.route(request, function(result, status) {
10:      if (status== google.maps.DirectionsStatus.OK) {
11:            mesafe= result.routes[0].distance;
12:      }
13: });
```

3. *Kullanıcı Arayüzü Tasarımı:* Kullanıcıların (karar vericilerin) kısa sürede veri girip en uygun kararı vermesi için yeterli süre kalacak şekilde sonucu üretmesini sağlamak için basit, anlaşılır ve kullanıcı dostu bir Grafik Tabanlı Kullanıcı Arayüzü oluşturmak gerekir. Kullanıcıların kullanımının zor olduğunu düşündüğü bir kullanıcı arayüzüne sahip bir Karar Destek Sistemi, başarılı bir yöneylem modeli ve çözüm algoritması içerse dahi ölü doğmuş bir sistem olacaktır. Uygulama web tabanlı bir uygulama olduğu için kullanıcı arayüzü de HTML işaretleme dili kullanılarak tasarlanacaktır. Bir web sayfası her zaman HTML işaretleme diliyle hazırlanır ve kaynak kodu incelendiğinde iki temel bölümden oluştuğu görülür (**Şekil 4.9**):

   - *HEAD:* HEAD kısmı bir web sayfasının motoru görevini görür. Web sayfasının yapısı, konusu, desteklediği sistemler ya da dinamik çalışmasını sağlayacak kodlar bu kısımda yer alır. CBS için geliştirilecek veri akışını yöneten ve algoritmayı içeren Javascript kodu bu kısımda bulunacaktır.
   - *BODY:* BODY kısmı sayfa (arayüz) tasarımının yapıldığı yerdir. CBS uygulaması için kullanılacak arayüz bu kısımda tasarlanacaktır.

   Kullanıcı Arayüzü, mümkün olduğu kadar sade bir tasarıma sahip olacaktır. Görülen alan dört bölüme ayrılacaktır (**Şekil 4.10**). İlk bölüm aynı zamanda en

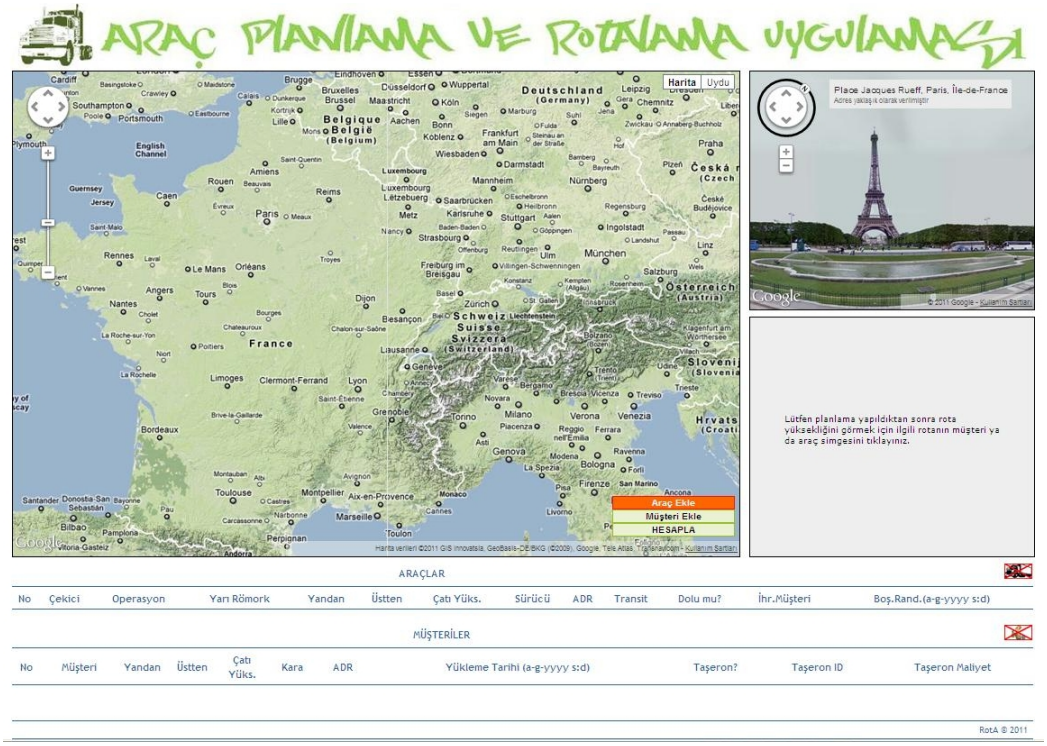


Şekil 4.9: HTML head ve body bölümleri.

büyük bölümdür ve haritayı içerecektir. Verinin ve sonuçların görselleştirileceği alan bu kısımdır. Girdi verisi harita üzerinde oluşturulabilecek, değişiklikler yapılabilecektir. Harita üzerinde işaretçiler yardımıyla konumlar belirlenectir. İşaretçilerin yerleri "sürükle-bırak" yöntemiyle değiştirilebilecektir. İkinci bölüm Sokak Görünümü (Street View) bölümüdür. Sokak Görünümü bölümü, işaretçilerin bulunduğu noktalara ilişkin fotoğrafların görüntüleneciği bölüm olacaktır. Üçüncü bölümde oluşturulan rotalar boyunca rakım bilgisi, sütun grafiği şeklinde sunulacaktır. İkinci ve üçüncü bölüm, rotalar ve konumlar hakkında yararlı olduğu düşünülen bilgiler verilmesi için kullanılmaktadır ve problemin çözümüne ilişkin veri akışına herhangi bir katkıları olmayacaktır. Son bölüm, girdilerin ve çıktıların özetlendiği ve girdilerin değiştirebildiği bölüm olacaktır. Bu bölümde üç tablo olacak, ilk tabloda araçlara dair girdi bilgileri ve ikinci tabloda taleplere dair girdi bilgileri yer alacaktır. Üçüncü tablo sonuç üretilene kadar gizli kalacak ve sonuç üretildiğinde sonuçları gösterecektir.

Geliştirilen sistemin kullanımı GAMS'ın kullanımına kıyasla daha kolaydır. Problemin hazırlanması için haritaya kolaylıkla işaretçi eklenebilir. Kullanıcı haritaya her tıkladığında aşağıdaki kod parçası çalışır ve işaretçinin bulunduğu yerin enlem ve boylam bilgisi kaydedilir:

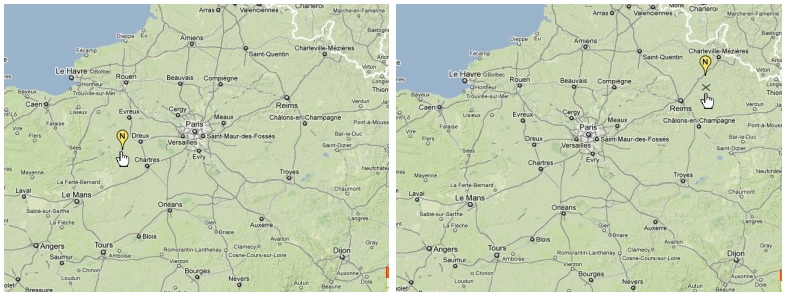
```
google.maps.event.addListener(map, 'click', function(event) {
    addmarker(event.latLng);
});
function addmarker(location) {
    isaretci= new google.maps.Marker({
        position: location,
```



Şekil 4.10: CBS için hazırlanan arayüz.

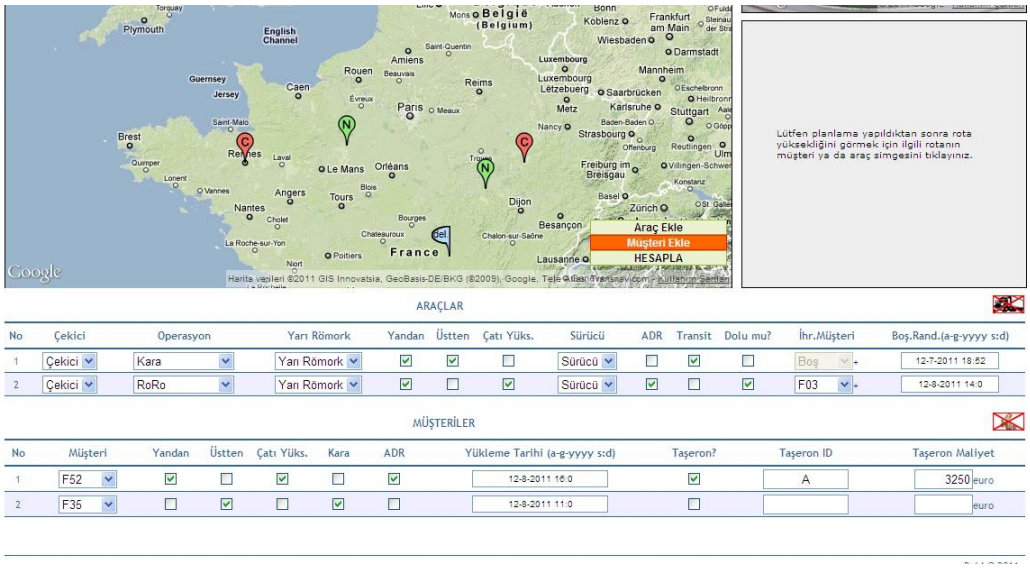
```
7:          map: map
8:      });
9:  }
```

İşaretçi haritaya eklendikten sonra, "sürükle-bırak" yöntemi ile doğru yere kaydırılabilir (**Şekil 4.11**). İşaretçi eklendiği sırada harita alanının sağ alt kısmında yer alan düğmelerden aktif olana göre (aktif düğme artalanı turuncu olur) işaretçi ya bir aracı ya da bir talebi temsil eder. Eklenen her işaretçi ile birlikte araç ya da talep tablolarına yeni bir satır eklenir. Veriler bu tablolar üzerinde güncellenebilir



Şekil 4.11: İşaretcinin sürüklenmesi.

(**Şekil 4.12**). Önceden sisteme tanımlanmış araçlar, sürücüler ya da yükleme noktaları seçildiğinde ilgili araç ya da talep için sahip olunan ya da istenen özellikler ilgili kutularda otomatik olarak işaretlenecektir. Tablolarda bilgi güncellemesi yapılabilecek kutular şöyle sıralanır:



Şekil 4.12: Tablolar üzerinde veri güncellemesi.

Araçlar Tablosu

- *Operasyon:* Aracın kullanabileceği güzergâh alternatifleri listelenir. Kara ya da RoRo değeri seçilebilir.
- *Yandan:* Yarı römork yandan açılabiliyorsa bu kutu işaretlenir.
- *Üstten:* Yarı römork üstten açılabiliyorsa bu kutu işaretlenir.
- *Çatı Yüks.:* Yarı römorkun çatısı yükseltilebiliyorsa bu kutu işaretlenir.
- *ADR:* Sürücünün ADR ehliyeti varsa bu kutu işaretlenir.
- *Transit:* Araç RoRo güzergâhını Şekil 4.4'te görülen transit rotası üzerinden kullanıyorsa bu kutu işaretlenir.
- *Dolu mu?:* Araç ihracat faaliyetini sonlandırmamışsa bu kutu işaretlenir.
- *İhr.Müşteri:* "Dolu mu?" kutusu işaretlendiğinde aktif olan bu kutu, aracın ihracat faaliyetini sonlandıracağı konumu seçmek için kullanılabilir. Ayrıca harita üzerinde aktif hale gelen işaretçi ile de bu konum belirlenebilir. Eğer birden fazla boşaltma yeri varsa, bu kutunun yanında yer alan "+" işareti tıklanarak açılan bölümde sırasıyla son boşaltma yerinden önce uğranılması gereken boşaltma yerleri eklenebilir. Her bir araç için toplamda en fazla 6 boşaltma yeri eklenebilir.
- *Boş.Rand.(a-g-yyyy s:d):* Araç boş ise aracın boşaltma tarihi, araç dolu ise ve boşaltma randevusu tarihi belli bir boşaltmaya gidiyorsa randevu tarihi girilir.

Bu kutu kullanımı zorunlu değildir. Eğer değer girilmezse aracın ortalama hızı JSON dosyasından alınarak tahmini varış tarihi hesaplanır.

Talepler Tablosu

- *Yandan:* Yükleme yandan yapılacaksa bu kutu işaretlenir.
- *Üstten:* Yükleme üstten yapılacaksa bu kutu işaretlenir.
- *Çatı Yüks.:* Araç yüksekliğinin olabilecek en fazla yükseklikte olması gerekiyorsa bu kutu işaretlenir.
- *Kara:* Aracın güzergâhının kara olması isteniyorsa bu kutu işaretlenir.
- *ADR:* Tehlikeli madde taşınması söz konusuysa bu kutu işaretlenir.
- *Yükleme Tarihi (a-g-yyyy s:d):* Hizmetin verilmesinin talep edildiği zaman yazılır. Bu aynı zamanda zaman penceresinin üst sınırı olarakta düşünülebilir.
- *Taşeron?:* Dış kaynak kullanımı olanağı varsa bu kutu işaretlenir.
- *Taşeron ID:* Dış kaynak kullanımı olanağı varsa bu kutuya söz konusu aracı betimleyen bir değer (plaka vb.) yazılır. Farklı satırlarda aynı değer kullanılmışsa, bu aynı aracın birden fazla talep için kullanılabileceği anlamına gelir. Sistem, söz konusu araç birden fazla yerde kullanılabiliyorsa bile iki kez planlanmasını önler.
- *Taşeron Maliyet:* Dış kaynak kullanımı olanağı varsa, dış kaynak kullanım bedeli yazılır.

Tüm araçlar ve talepler tanımlandığında, harita sağ alt köşesinde "HESAPLA" düğmesi tıklanarak işlem başlatılır. İşlem sona erdiğinde sonuçlar bir tablo halinde sayfanın en altında özetlenir. Bu tabloda yer alan bilgiler şunlardır:

- İkinci ve üçüncü sütun, eşleşen araç-talep ikilisini gösterir. Eğer bir talep için dış kaynak kullanımı söz konusu olduysa talep yanında "Taşeron Araç", eğer bir araç planlanmazsa araç yanında "Planlanmayan Araç" ifadesi yer alır.
- "İthalat Aktivitesi (km)" sütununda, aracın yükleme noktasından itibaren faaliyet tamamlanana kadar katedeceği mesafe bilgisi yer alır.
- "Boş Mesafe (km)" sütununda, aracın mevcut konumundan ya da boşa çıkacağı konumdan yükleme noktasına kadar katedeceği mesafe bilgisi yer alır.

- "Zamanında Varış Olasılığı" sütununda, en iyi olasılıkla (günlük çalışma süresinin henüz başlamadığı düşünülerek) talebin zamanında karşılanabilme olasılığı yer alır.

- "Yükleme İçin Hazır Olunabilecek Saat" sütununda, aracın yükleme yerine varış zamanı tahmini yer alır.

- "Boşaltma Müşterisine Mesafe (km)" sütununda, araç dolu ise boşaltma noktasına kadar katedeceği mesafe bilgisi, araç boş ise "Araç boş" ifadesi yer alır.

Geliştirilen sistemde orijinal modelde yer alan kapasite kısıtlarına yer verilmemiştir. Bunun nedeni, geliştirilen sistemin aracın tümünün bölünmeden yani komple yükler için hizmete sunulduğu operasyonlar için geliştirilmiş olmasıdır. Ayrıca bu operasyonda araçlar sabit kapasiteye sahiptir ve araçlar arasındaki farklar, yandan açılma, çatısı yükselme vb. gibi tanımlanmış özelliklerle ifade edilebilmektedir. Bu sistemin geliştirilen modelden bir diğer farkı, maliyetlerin tüm faaliyet boyunca hesaplanmasıdır. Maliyetler sınırlı bir bölgede değil, yüklemenin başlamasından teslim anına kadar tüm süreç boyunca hesaplanmıştır. Amaç dış kaynak kullanımı durumunda alınan fiyat tekliflerinin karşılaştırılabilir bir maliyet sistemi içine yerleştirilebilmesidir.

Sistemin çözüm üretirken takip ettiği adımları görmek için ilk olarak basit bir problem ele alınacaktır.

Üç talebin iletildiği kabul edilsin. Bu talepler $Versailles(F78)$, $Vesoul(F70)$ ve $Lyon(F69)$ bölgelerinden gelmiş olsun ve sırasıyla $Metz(F57)$, $Vesoul$ ve $Lyon$ bölgelerinde gümrük işlemleri yapılsın. Bu talepleri gerçekleştirmek için 3 araç ve 1 dış kaynak aracı olduğu kabul edilsin. Dış kaynak aracı tüm bölgelere farklı taşıma ücretleriyle hizmet yapabilsin ve diğer araçlar $Laon(F02)$, $Pontoise(F95)$ ve $Nantes(F44)$ bölgelerinde yer alsın. Bu araçlarda sırasıyla Kara, RoRo ve RoRo Transit güzergâhlarını kullansın. Laon'daki aracı Lyon'daki talebe 2 saat gecikmeli hizmet verebiliyor olsun. Diğer tüm eşleşmelerde herhangi bir gecikme olmasın. Versailles'teki talep, yandan açılan yarı römorka sahip bir araç beklerken Vesoul'daki talep için kara aracı istendiği kabul edilsin. Pontoise'deki ve Nantes'taki araçlar yandan açılabilir iken Laon'daki aracın böyle bir özelliği olmasın. Bu durumda 4 araç ve 3 talepten oluşan bir problem söz konusudur ve maliyet matrisini oluşturmak için bir geçici talep tanımlanır. 4×4 bir matris oluşturulacaktır. Oluşturulacak matriste satırlar araçları, sütunlar talepleri ifade edecektir.

Matrisin $(1, 3)$ elemanı Laon'daki aracın Lyon'daki taleple eşleştirilmesi durumunda oluşacak maliyeti, $(1, 4)$ elemanı Laon'daki aracın geçici taleple eşleştirilmesi yani

aracın boş bekletilmeye karar verilmesiyle oluşacak maliyeti, $(4,1)$ elemanı ise Versailles'teki talebe dış kaynak verilmesi durumunda oluşacak maliyeti ifade eder. Bu maliyetler şöyle hesaplanır:

1. $a_{1,3}$**:** Laon'daki araç ile Lyon'daki talep karşılanmaya başlandığında kullanılacak güzergâhın uzunluğu 3.490 km'dir. Araçların sabit 70 km/sa hızıyla gittiği, yükleme ve gümrük noktalarında hizmetin araç vardığı anda başladığı, hizmet süresinin her bir faaliyet için 1 saat sürdüğü ve sürücünün her 9 saatlik çalışma süresinin ardından 11 saat mola vermesi gerektiği kabul edilirse, güzergâh üzerinde harcanan toplam süre $t_{1,3}$ (gün) şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} t_{1,3} &= \left(\frac{3.490}{80} + \|\frac{3.490}{80 \cdot 9}\| \cdot 11 + 1 + 1\right) \cdot \frac{1}{24} \\ &= 4,45 \end{aligned} \tag{4.32}$$

   Eğer günlük maliyet 65 birim ise ve km başı maliyet 0,45 birim ise toplam maliyet şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} d_{1,3} \cdot 0,45 + t_{1,3} \cdot 65 &= 3.490 \cdot 0,45 + 4,45 \cdot 65 \\ &= 1.859,75 \end{aligned} \tag{4.33}$$

   Laon'daki araç Lyon'daki talebe gecikmeli hizmete başlayacağı için gecikme bedeli de eklendiğinde $a_{1,3}$ şöyle bulunur:

$$\begin{aligned} a_{13} &= 1.859,75 + 2 \cdot 50 \\ &= 1.959,75 \end{aligned} \tag{4.34}$$

2. $a_{1,4}$**:** Laon'daki araç geçici taleple eşleştirildiğinde aracın boş bırakılması gerektiği anlaşılır. Boş bekletme maliyeti (4.15) ifadesi ile hesaplanır. Laon'daki araç için en yakından başlayarak olası yük bulunma noktalarının araca uzaklıkları ve yük bulunma olasılıkları, **Çizelge 4.5**'teki gibi verilsin. $E[d_{ii^*}]$ beklenen değeri aracın bir sonraki planlama zamanında planlanması

   Çizelge 4.5: Laon çevresinde yük bulunma olasılığı olan bölgeler.

Mesafe(km)	Olasılık
125	0.750
145	0.125
154	0.500
157	0.700
160	1.000

   durumunda olası talep noktalarına ulaşmak için kaç km gideceğini belirler. Salt

en yakın olası nokta dikkate alındığında bu değer, o olası noktaya olan uzaklık olacaktır. Tablodaki tüm olası noktaları içeren bir komşulukta beklenen değer şöyle hesaplanacaktır:

$$\begin{aligned} E[d_{ii^*}] &= 0,750 \cdot 125 + 0,250 \cdot (0,125 \cdot 145 + 0,875 \cdot (0,500 \cdot 154 + \\ &\quad 0,500 \cdot (0,700 \cdot 157 + 1,000 \cdot 160))) \\ &= 132,40 \end{aligned} \tag{4.35}$$

$E[t_{ii^*} - (\tau_{sp} - \tau_i)]$ beklenen değeri de aynı yöntemle hesaplanır. Tüm yükleme saatleri ve planlama anları günün aynı zamanına denk geldiği kabul edildiği için bu değer her zaman 1 olacaktır. Laon'un salt ilk olasılığı içeren komşuluğu için (4.15) ifadesini uygularsak şu sonucu buluruz:

$$\begin{aligned} co_{14} &= 65 \cdot 0 + (1 - (1 - 0.750)) \cdot (0.45 \cdot 125 + 65 \cdot 1) + \\ &\quad \cdot (1 - 0.750) \cdot A \end{aligned} \tag{4.36}$$

(4.14) ifadesinden A şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} A &= \frac{65 \cdot 1}{1 - (1 - 0,750)} + 0,45 \cdot 125 + 65 \cdot 1 \\ &= 207,92 \end{aligned} \tag{4.37}$$

A'nın değeri co_{14} ifadesi için yerine konulursa:

$$\begin{aligned} co_{14} &= 65 \cdot 0 + (1 - (1 - 0,750)) \cdot (0,45 \cdot 125 + 65 \cdot 1) \cdot (1 - 0,750) \cdot 207,92 \\ &= 142,92 \end{aligned} \tag{4.38}$$

Bu ifadede salt en yakın bölge kullanılmıştır. Bu bölgeye aracı gönderme maliyeti:

$$\begin{aligned} d_{i\iota} \cdot \alpha + t_{i\iota} \cdot \beta &= 125 \cdot 0,45 + 65 \cdot 1 \\ &= 121,25 \end{aligned} \tag{4.39}$$

olarak bulunur. Aracı gönderme maliyeti bekleme maliyetinden düşük olduğu sürece komşuluk daha fazla olası yükleme bölgesini içerecek şekilde genişletilir. Yapılan hesaplar sonucu, **Çizelge 4.6**'da gösterilen maliyetler bulunur: 3 olası bölgeyi içeren bölgede boş bekleme maliyeti 3. en yakın bölgeye araç gönderme maliyetinin altına inmektedir. Böyle bir durumda aracı 3. en yakın bölgeye göndermek anlamsız olur. 3. en yakın bölgede yük bulunsa bile, aracın bulunduğu konumda beklemesi daha avantajlıdır. Sonuçta 2 olası bölgeyi içeren

Çizelge 4.6: Aracın boş bekleme ve ilgili bölgeye gönderilme maliyetleri.

Komşuluk	Boş bekleme maliyeti	Araç gönderme maliyeti
1 olası bölge	142.92	121.25
2 olası bölge	141.70	123.50
3 olası bölge	132.37	134.30

bir komşulukta boş bekleme maliyeti 141,70 birim olarak alınmalıdır.

3. $a_{4,1}$**:** Talebe dış kaynakla hizmet verme maliyeti, dış kaynak tarafından talep edilen taşıma ücretidir. Versailles talebi için bu ücret 1.700 birim olarak alınacaktır.

Bunların dışında $a_{2,2}$ ve $a_{2,3}$, ilgili araçlar, kara aracı olma talebini karşılamadığı için ve $a_{1,1}$, ilgili aracın yandan açılma koşulunu sağlamadığı için çok büyük maliyet değerleriyle ifade edilecektir. Bu değer, varolan problem için 100.000 olarak alınacaktır. $a_{4,4}$ dış kaynak aracının geçici talebe atanmasını yani kullanılmamasını ifade eder. Dış kaynak aracının kullanılmama maliyeti 0 olacaktır. Oluşan maliyet tablosu şöyledir:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 100.000 & 1605,30 & 1.959,75 & 141,70 \\ 1.384,55 & 100.000 & 1.590,70 & 75,19 \\ 1.742,65 & 100.000 & 1.466,65 & 102,12 \\ 1.700 & 1.600 & 1.650 & 0 \end{pmatrix}$$

Oluşturulan matrise Macar Algoritması uygulanarak çözüm bulunur:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 98.548,94 & 0 & 453,52 & 0 \\ 0 & 98.461,21 & 150,98 & 0 \\ 331,17 & 98.434,28 & 0 & 0 \\ 390,64 & 136,4 & 285,47 & 0 \end{pmatrix}$$

Satır ve sütunlardan en küçük değerler sırasıyla çıkarıldığında oluşan matriste 0'lar seçilerek en uygun eşleşme, **Çizelge 4.7**'deki gibi bulunur.

Çizelge 4.7: Problemin çözümü.

Araç Konumu	Talep Konumu
Laon	Vesoul
Pontoise	Versailles
Nantes	Lyon
Dış Kaynak Aracı	Geçici Talep

Geliştirilen sistem daha önce GAMS ile çözüm üretilen, 20 talep ve 20 araçtan oluşan

Şekil 4.13: Haritaya yerleştirilen araçlar ve talepler.

ARAÇLAR

No	Çekici	Operasyon	Yarı Römork	Yandan	Üstten	Çatı Yüks.	Sürücü	ADR	Transit	Dolu mu?	İhr.Müşteri	Boş.Rand.(a-g-yyyy s:d)
1	Çekici	Kara	Yarı Römork	☐	☑	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 15:46
2	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☐	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 09:04
3	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 12:53
4	Çekici	RoRo	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 13:33
5	Çekici	RoRo	Yarı Römork	☑	☑	☑	Sürücü	☐	☐	☐	Boş	12-7-2011 17:39
6	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 14:28
7	Çekici	Kara	Yarı Römork	☐	☐	☑	Sürücü	☐	☐	☐	Boş	12-7-2011 08:11
8	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 11:0
9	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 11:44
10	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☐	Sürücü	☐	☐	☐	Boş	12-7-2011 14:50
11	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☐	Sürücü	☐	☐	☐	Boş	12-7-2011 08:22
12	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☐	☐	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 12:52
13	Çekici	Kara	Yarı Römork	☐	☐	☐	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 17:11
14	Çekici	RoRo	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 14:33
15	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☐	☐	☐	Boş	12-7-2011 14:43
16	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 16:29
17	Çekici	RoRo	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 13:31
18	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 16:51
19	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☐	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 11:48
20	Çekici	Kara	Yarı Römork	☑	☑	☑	Sürücü	☑	☐	☐	Boş	12-7-2011 15:19

Şekil 4.14: CBS üzerinde araçlar tablosu.

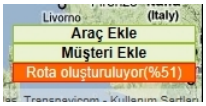
problemin çözümünü bulmak için kullanılacaktır. Yeni sistemde kapasite kısıtları sisteme dahil edilmediği için ve problemin GAMS için hazırlanan versiyonunda tüm araçlar üstten yüklenebildiği için, bir önceki problemin kapasite kısıtları bu problemde üstten yüklenme kısıtları gibi kullanılmıştır. Kapasitesi 1 olan araçlar üstten yüklenmeye uygun araçlar ve diğer araçlar üstten yüklenmeye uygun olmayan araçlar gibi sisteme girilmiştir. Harita üzerinde talepler (**Şekil 4.13**) ve tablolar halinde talepler (**Şekil 4.14**) ile araçlar (**Şekil 4.15**) hazır olduğunda "Hesapla" tuşuna basılarak çözüm üretilir (**Şekil 4.16**).

Sonuç 8 dakika 5 saniyede üretilmiştir. Bu sürenin tamamına yakını Google sunucusuna bağlanılarak mesafe hesaplamak için kullanılmıştır. Maliyet matrisi oluşturulduktan sonra algoritmanın sonucu üretmesi 1 saniyeden kısa sürmüştür. Sonuçlar **Şekil 4.17**'de, **Şekil 4.18**'de ve **Çizelge 4.8**'de görülmektedir. Farklı problem büyüklüklerinde test edilen CBS sistemi

MÜŞTERİLER

No	Müşteri	Yandan	Üstten	Çatı Yüks.	Kara	ADR	Yükleme Tarihi (a-g-yyyy s:d)	Taşeron?	Taşeron ID	Taşeron Maliyet
1	F86-86	☐	☐	☑	☐	☑	12-8-2011 16:00	☑	A	3500 euro
2	F87-87	☑	☑	☐	☐	☑	12-8-2011 16:00	☑	B	3500 euro
3	F66-66	☐	☑	☑	☑	☐	12-8-2011 11:00	☑	C	3500 euro
4	F12-38	☐	☐	☐	☐	☑	12-8-2011 15:00	☑	D	3500 euro
5	F51-51	☑	☑	☐	☑	☐	12-8-2011 06:00	☑	E	3500 euro
6	F34-34	☐	☑	☑	☑	☑	12-8-2011 11:00	☐		euro
7	F87-87	☑	☑	☑	☐	☐	12-8-2011 10:00	☑	F	3500 euro
8	F57-03	☐	☑	☑	☐	☐	12-8-2011 10:00	☑	G	3500 euro
9	F46-46	☑	☐	☑	☐	☐	12-8-2011 13:00	☑	H	3500 euro
10	F30-30	☑	☑	☐	☐	☐	12-8-2011 17:00	☑	I	3500 euro
11	F77-77	☐	☐	☐	☐	☐	12-8-2011 15:00	☐		euro
12	F38-52	☐	☑	☐	☐	☐	12-8-2011 15:00	☑	J	3500 euro
13	F90-90	☑	☑	☐	☑	☑	12-8-2011 16:00	☐		euro
14	F05-05	☐	☐	☐	☐	☑	12-8-2011 17:00	☐		euro
15	F68-68	☐	☐	☐	☐	☐	12-8-2011 16:00	☑	K	3500 euro
16	F04-04	☐	☐	☑	☑	☐	12-8-2011 15:00	☑	L	3500 euro
17	F16-23	☐	☐	☑	☑	☑	12-8-2011 11:00	☐		euro
18	F13-13	☐	☑	☐	☐	☐	12-8-2011 11:00	☑	M	3500 euro
19	F10-10	☑	☑	☐	☐	☐	12-8-2011 17:00	☑	N	3500 euro
20	F18-33	☐	☑	☐	☐	☐	12-8-2011 08:00	☑	O	3500 euro

Şekil 4.15: CBS üzerinde talepler tablosu.

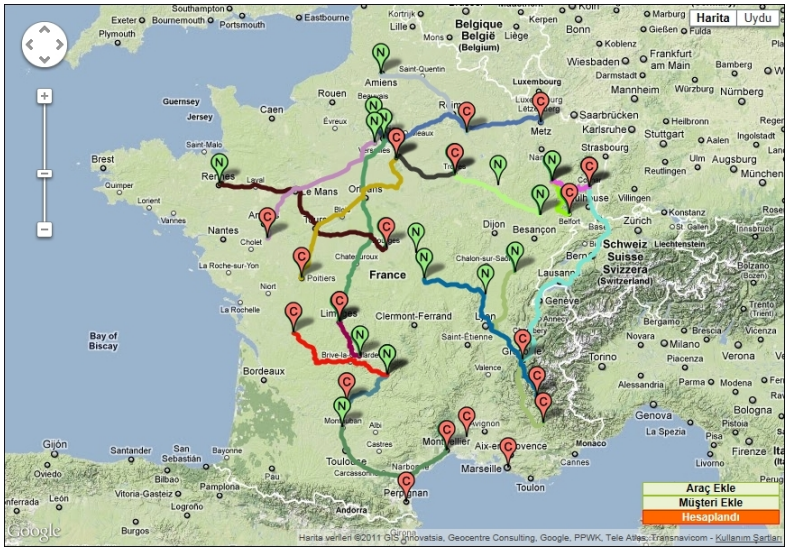


Şekil 4.16: Aktif hesaplama tuşu.

Çözüm Süresi: 8 dakika 5 saniye

No	Müşteri	Araç	İthalat Aktivitesi (km)	Boş Mesafe (km)	Zamanında Varış Olasılığı	Yükleme İçin Hazır Olunabilecek Saat	Boşaltma Müşterisine Mesafe (km)
1	3. F66-66	Taşeron araç	-	-	-	-	-
2	6. F34-34	18. Çekici	1881	294	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 20:13:36	Araç boş
3	10. F30-30	Taşeron araç	-	-	-	-	-
4	13. F38-52	10. Çekici	1714	468	%100	08 Aralık 2011 Perşembe 06:52:36	Araç boş
5	13. F90-90	20. Çekici	1079	104	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 17:40:36	Araç boş
6	14. F05-05	14. Çekici	1697	412	%100	08 Aralık 2011 Perşembe 06:03:36	Araç boş
7	15. F68-68	9. Çekici	1049	93	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 17:30:36	Araç boş
8	17. F16-23	19. Çekici	1918	268	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 19:58:36	Araç boş
9	19. F10-10	11. Çekici	1445	198	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 19:00:36	Araç boş
10	16. F04-04	12. Çekici	1751	409	%100	08 Aralık 2011 Perşembe 06:01:36	Araç boş
11	5. F51-51	2. Çekici	1385	218	%66	07 Aralık 2011 Çarşamba 19:17:36	Araç boş
12	8. F57-03	3. Çekici	1377	362	%100	08 Aralık 2011 Perşembe 06:21:36	Araç boş
13	9. F46-46	17. Çekici	1822	133	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 18:04:36	Araç boş
14	18. F13-13	Taşeron araç	-	-	-	-	-
15	2. F87-87	16. Çekici	1642	92	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 17:29:36	Araç boş
16	7. F87-87	5. Çekici	1942	392	%100	08 Aralık 2011 Perşembe 06:47:36	Araç boş
17	20. F18-33	1. Çekici	1812	408	%35	08 Aralık 2011 Perşembe 06:00:36	Araç boş
18	4. F12-38	4. Çekici	1965	309	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 20:35:36	Araç boş
19	1. F86-86	6. Çekici	2018	361	%100	08 Aralık 2011 Perşembe 06:20:36	Araç boş
20	11. F77-77	7. Çekici	1482	130	%100	07 Aralık 2011 Çarşamba 18:02:36	Araç boş
21	Planlanmayan araç	8. Çekici	-	-	-	-	-
22	Planlanmayan araç	13. Çekici	-	-	-	-	-
23	Planlanmayan araç	15. Çekici	-	-	-	-	-
24	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
25	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
26	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
27	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
28	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
29	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
30	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
31	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
32	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
33	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
34	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
35	Planlanmayan araç	Taşeron araç	-	-	-	-	-
	Toplam:		27979	4648		Boş km oranı: %16	

Şekil 4.17: Planlama sonucu oluşturulan özet tablo.



Şekil 4.18: Harita üzerinde planlama sonucu.

Çizelge 4.8: CBS ile 20-20 problem çözümü.

Araç	Talep
F78	F12
F39	F04
F19	F87
F52	Planlanmayan Araç
F75	F87
F95	F57
F10	F77
F15	F16
F58	Planlanmayan Araç
F68	F38
F03	F05
F35	F18
F70	F10
F71	Planlanmayan Araç
F77	F86
F88	F68
F15	F46
F88	F90
F80	F51
F82	F34
Dış Kaynak	F13
Dış Kaynak	F30
Dış Kaynak	F66

Çizelge 4.9: Model test sonuçları.

m	n	Planlanan Araç Sayısı	Dış Kaynak Araç sayısı	Çözüm Süresi (dakika)
20	15	15	0	5.63
20	20	17	3	8.82
20	25	20	5	11.24
50	40	39	1	36.65
50	50	44	6	41.87
50	60	50	10	46.24
80	60	60	0	65.11
80	80	72	8	79.91
80	100	80	20	91.40

ile elde edilen sonuçlar **Çizelge 4.9**'da görülmektedir. Tüm problemler http://www.web.itu.edu.tr/taskina/arpproblemler.zip adresinden indirilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Araç Planlama Problemi'nin yeni bir varyasyonu üzerinde durulmuştur. Bu problemin çözümü için geliştirilen model önce GAMS programıyla ardından da Macar Algoritmasını kullanarak çözüm üreten bir Coğrafi Bilgi Sistemi ile çözülmüştür.

Gerçek bir taşıma probleminden esinlenilerek rassal verilerle üretilen problemler dikkate alınmıştır. Maliyetlerle ilgili gereksinim duyulan veriler, taşımacılık sektöründe uzman kişilerinin belirlediği değerlerden elde edilmiştir. Çözümü kabul edilebilir sürede üreten bir sistem tasarlanmıştır.

Araç Planlama Probleminin Araç Rotalama probleminden en önemli farklarından birisi, Araç Planlama Probleminde parsiyel yüklere izin verilmemesidir. Parsiyel yükler modele eklendiğinde problem polinomiyal zamanda çözülemeyen bir problem haline gelecektir ve yaklaşık çözüm veren bir algoritma seçilmesi gerekecektir.

5.1. Geliştirilen Yöntemin Diğer Yöntemlere Göre Üstün Yanları

Geliştirilen yöntem Geri Dönüşlü Araç Rotalama Problemini ikiye ayırarak geri dönüşlerin dikkate alındığı bir problem üzerinde yoğunlaşır. Böylelikle planlama ufku düşürülmüş ve problemin daha deterministik bir yapı kazanması sağlanmıştır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda boşta bekleyen araçların maliyeti çok fazla dikkate alınmamıştır. Oysa uzun mesafelerde yapılan ve geniş bir bölgeyi içeren taşımalarda araçların bekletileceği bir depo bulmak mümkün olmamaktadır. Talepler zamana yayılarak taleplere cevap verme zorunluluğunun üstesinden gelinir, ancak bu durum araçların rastgele yerlerde bekletilmesine neden olur. Bu beklemelerin yaratacağı maliyet dikkate alınmazsa, optimum bir çözümden bahsedilemez. Bu çalışmada, araçların boş bekleme maliyetleri rassal yöntemler kullanılarak hesaplanır ve probleme dahil edilir.

Boş bekleme maliyetlerinin hesaplanması, aynı zamanda araçların seyahat maliyeti ile birlikte boş bekleme maliyetlerinin daha düşük olacağı bölgelere çekilmesini de sağlar. Diğer çalışmalarda çıktı olarak araç-talep eşleşmeleri üretilirken, bu çalışmada araç-talep eşleşmeleriyle birlikte boşta kalan araçlar için bir bekleme noktası da üretilir.

Web tabanlı teknolojilerin gelişmesiyle birlikte kullanımı yaygınlaşan CBS'ler,

Araç Rotalama ve Planlama Problemlerinin ele alınış şeklini etkilemeye başlamıştır. Geliştirilen CBS sistemi, gerek Araç Planlama Probleminin çözümünün üretilebilmesi, gerekse web tabanlı olmasıyla hem araç yönetiminin tek bir yerden yapılma zorunluluğunu ortadan kaldırmakta, hem de problemin çözümü için anlaşılması kolay bir arayüz sunmaktadır.

Sürücü çalışma ve sürüş sürelerine getirilen kısıtlar, şimdiye kadar çok az ele alınmıştır. Bu çalışmada bu kısıtlar da dikkate alınarak uzun süreli taşıma faaliyetleri üzerinde büyük etkisi olan kurallar göz ardı edilmemiş olur.

5.2. İleriye Dönük Araştırma Konuları

Bu çalışmada ele alınan yöntemde bazı kabuller yapılarak gerçek problemin rassal yapısının üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. İlerleyen zamanlarda stokastik hesaplarla daha tutarlı sonuçlar üreten bir sistem tasarlanabilir. Stokastik yöntemler kullanılarak hesaplanabilecek bazı değerler, araçların hızları, bu hızlara bağlı seyahat süreleri ya da yükleme ve boşaltma noktalarının hizmet süreleridir. Bir bölgede dış kaynak aracı bulabilme olasılığı ya da yük bulabilme olasılığı, daha uzun sürede gözlenmiş veriler ışığında gerçeğe daha yakın şekilde tahmin edilebilecektir. Ayrıca bir bölgede yük bulunma olasılığı, o bölgeden yapılan son yüklemenin tarihine bağlı olarak dinamik bir şekilde de hesaplanabilir. Taleplerin kabulü ya da reddi, eldeki verilerle sistematik olarak yapılabilir. Araçların tonajları ve akaryakıt tüketimi arasındaki ilişki de dikkate alınabilecek başlıklar arasındadır.

Geliştirilen yöntem için belirtilebilecek en önemli eksik, bir aracın salt bir talebe cevap verdiği bir yapı üzerinde durmuş olmasıdır. İlerleyen çalışmalarda uygun algoritmaların kullanımıyla birlikte, bir aracın birden çok talebe cevap verebildiği, yani parsiyel taşımalar yapabildiği taşıma faaliyetleri de dikkate alınabilir.

Bu çalışmada geliştirilen Karar Destek Sistemi ile olası çözümler daha hızlı üretilebileceği için planlama uzmanlarının daha fazla çözümü daha kısa sürede değerlendirmesi mümkün olmuştur. Taşımacılık sektöründe planlama genellikle otomasyondan uzak, bireysel deneyim yardımıyla yapılmaktadır. Bu çalışma, planlama da otomasyona geçişte önemli bir adım olacak ve gelişen teknolojinin de kullanılmasıyla daha kısa sürede çözümler üretilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Url-2**. <*http://epp.eurostat.ec.europa.eu*>, alındığı tarih: 09.12.2011.

[2] **Url-1**. <*http://www.tuik.gov.tr*>, alındığı tarih: 09.12.2011.

[3] **Tanyaş, M.**, Lojistik süreçler ve yönetimi, Sunum.

[4] **Ghosh, S. and Lee, T.S.**, (2010). Fundamental issues in transportation systems, Intelligent Transportation Systems Smart and Green Infrastructure Design, CRC Press, pp. 19–28.

[5] **Sutherland, J.L.**, (2009). Logistics from a historical perspective, Introduction to Logistics Engineering, CRC Press, pp. 1–14.

[6] **Gudehus, T. and Kotzab, H.**, (2009). Comprehensive Logistics, Springer Verlag Berlin Heidelberg.

[7] **Tanyaş, M.**, Transportasyon yönetimi, Sunum.

[8] **Sanders, N.R.**, (2011). Supply Chain Management: A Global Perspective, John Wiley & Sons.

[9] **Dantzig, G. and Ramser, J.**, (1958). The Truck Dispatching Problem, 80–91.

[10] **Berbeglia, G.**, **Cordeau, J.F.**, **Gribkovskaia, I. and Laporte, G.**, (2007). Static pickup and delivery problems:a classification scheme and survey, *Sociedad de Estadistica e Investigacion Operativa*, **15**, 1–31.

[11] **Berbeglia, G.**, **Cordeau, J.F. and Laporte, G.**, (2010). Dynamic pickup and delivery problems, *European Journal of operations Research*, **202**, 8–15.

[12] **Powell, W.B.**, (1986). A stochastic model of the dynamic vehicle allocation problem, *Transportation Science*, **20**, 117–129.

[13] **Swihart, M.R. and Papastavrou, J.D.**, (1999). A stochastic and dynamic model for the single-vehicle pick-up and delivery problem, *European Journal of Operational Research*, **114**, 447–464.

[14] **Ghiani, G.**, **Guerriero, F.**, **Laporte, G. and Musmanno, R.**, (2003). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies, *European Journal of Operational Research*, **151**, 1–11.

[15] **Horn, M.E.T.**, (2006). On-line vehicle routing and scheduling with time-varying travel speeds, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, **10**, 33–40.

[16] **Savelsbergh, M. and Sol, M.**, (1998). Drive: Dynamic routing of independent vehicles, *Operations Research*, **46**, 474–490.

[17] **Zhang, X. and Tang, L.**, (2007). Disruption management for the vehicle routing problem with time windows, *Springer-Varlag Berlin Heidelberg*, **2**, 225–234.

[18] **Li, J.Q.**, **Mirchandani, P.B. and Borenstein, D.**, (2009). A Lagrangian heuristic for the real-time vehicle rescheduling problem, *Transportation Research Part E*, **45**, 419–433.

[19] **Ibaraki, T.**, **Imahori, S.**, **Kubo, M.**, **Masuda, T. and Yagiura, M.**, (2005). Effective local search algorithms for routing and scheduling problems with general time-window constraints, *Transportation Science*, **39(2)**, 206–232.

[20] **Kallehauge, B.**, (2008). Formulations and exact algorithms for the vehicle routing problem with time windows, *Computers & Operations Research*, **35**, 2307–2330.

[21] **Li, J.Q.**, **Mirchandani, P.B. and Borenstein, D.**, (2009). Real-time vehicle rerouting problems with time windows, *European Journal of Operational Research*, **194**, 711–727.

[22] **Belfiore, P. and Yoshizaki, H.T.Y.**, (2009). Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil, *European Journal of Operational Research*, **199**, 750–758.

[23] **Qureshi, A.G.**, **Taniguchi, E. and Yamada, T.**, (2009). An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows, *Transport Research Part E*, **45**, 960–977.

[24] **Müller, J.**, (2010). Approximative solutions to the bicriterion vehicle routing problem with time windows, *European Journal of Operational Research*, **202**, 223–231.

[25] **Meng, Q.**, **Lee, D.H. and Cheu, R.L.**, (2005). Multiobjective vehicle routing and scheduling problem with time window constraints in hazardous material transportation, *Journal of Transportation Engineering*, **131**, 699–707.

[26] **Li, X.**, **Tian, P. and C.H.Leung, S.**, (2010). Vehicle routing problems with time windows and stochastic travel and service times: Models and algorithm, *Int.J.Production Economics*, **125**, 137–145.

[27] **Goel, A.**, (2008). Fleet Telematics, Springer Science+Business Media.

[28] **Goel, A.**, **Archetti, C. and Savelsbergh, M.**, (2012). Truck driver scheduling in Australia, *Computers & Operations Research*, **39**, 1122–1132.

[29] **Goel, A. and Vidal, T.**, (2011). A hybrid genetic algorithm for combined vehicle routing and truck driver scheduling, *MIC 2011: The IX Metaheuristics International Conference*, 1–3.

[30] **Baldacci, R.**, **Toth, P. and Vigo, D.**, (2007). Recent advances in vehicle routing exact algorithms, *Springer-Verlag*, **5**, 269–298.

[31] **Padberg, M. and Rinaldi, G.**, (1991). A branch-and-cut algorithm for the resolution of large-scale symmetric traveling salesman problems, *SIAM Review*, **33**, 60–100.

[32] **Dumitrescu, I.**, **Ropke, S.**, **Cordeu, J.F. and Laporte, G.**, (2010). The traveling salesman problem with pickup and delivery: polyhedral results and a branch-and-cut algorithm, *Math.Program.,Ser.A*, **121**, 269–305.

[33] **Cordeau, J.F.**, **Dell'Amico, M. and Iori, M.**, (2010). Branch-and-cut for the pickup and delivery traveling salesman problem with FIFO loading, *Computers & Operations Research*, **37**, 970–980.

[34] **Cordeau, J.F.**, **Iori, M.**, **Laporte, G. and González, J.J.S.**, (2009). A branch-and-cut algorithm for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading, *Wiley Interscience*, 46–59.

[35] **Cortés, C.E.**, **Matamala, M. and Contardo, C.**, (2010). The pickup and delivery problem with transfers: Formulation and a branch-and-cut solution method, *European Journal of Operational Research*, **200**, 711–724.

[36] **Glover, F.**, (1989). Tabu Search - Part I, *ORSA Journal on Computing*, **1**, 190–206.

[37] **Glover, F.**, (1990). Tabu Search - Part II, *ORSA Journal on Computing*, **2**, 4–32.

[38] **Cordeau, J.F. and Laporte, G.**, (2002). Tabu search heuristics for the vehicle routing problem, *Les Cahiers du GERAD*, **15**, 1–14.

[39] **Brandão, J.**, (2006). A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls, *European Journal of Operational Research*, **173**, 540–555.

[40] **Côté, J.F. and Potvin, J.Y.**, (2009). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with private fleet and common carrier, *European Journal of operational Resarch*, **198**, 464–469.

[41] **Goel, A.**, (2010). A column generation heuristic for the general routing problem, *Springer-Verlag*, 1–9.

[42] **Oppen, J.**, **kketangen, A.L. and Desrosiers, J.**, (2010). Solving a rich vehicle routing and inventory problem using column generation, *Computers & Operations Research*, **37**, 1308–1317.

[43] **Cordeau, J.F.**, **Gendreau, M.**, **Hertz, A.**, **Laporte, G. and Sormany, J.S.**, (2004). New heuristics for the vehicle routing problem, *Les Cahiers du GERAD*, **33**, 1–17.

[44] **Gajpal, Y. and Abad, P.**, (2009). An ant colony system(ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup, *Computers & Operations Research*, **36**, 3215–3223.

[45] **Hong, B. and Liu, C.**, (2009). A two-stage hybrid heuristic for vehicle routing problem with pickups and deliveries, *2009 International Conference on Information Management, Innovation and Industrial Engineering*, 92–97.

[46] **Krumke, S.O.**, **Saliba, S.**, **Vredeveld, T. and Westphal, S.**, (2008). Approximation algorithms for a vehicle routing problem, *Mathematical Methods of Operational Research*, **68**, 333–359.

[47] **Wang, F.**, (2010). A decision support system for logistics distribution network planning based on multi-agent systems, *2010 Ninth International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science*, 210–218.

[48] **Zak, J.**, (2010). Handbook on Decision Making, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[49] **Sandvik, B.**, (2008). Using KML for thematic mapping, *Geographical Information Science*, 1–20.

[50] **Peng, C.**, **Chen, B.Y. and Tsai, C.H.**, (2010). Integrated Google Maps and smooth street view videos for route planning, 319–324.

[51] **Santos, L.**, **Coutinho-Rodrigues, J. and Antunes, C.H.**, (2011). A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps, *Decision Support Systems*, **51**, 1–9.

[52] **Hoff, A.**, **Andersson, H.**, **Christiansen, M.**, **Hasle, G. and Lokketangen, A.**, (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing, *Computers & Operations Research*, **37**, 2041–2061.

[53] **Toth, P. and Vigo, D.**, (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem, *Discrete Applied Mathematics*, **123**, 487–512.

[54] **Tütüncü, G.**, (2010). An interactive GRAMPS algorithm for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem with and without backhauls, *European Journal of Operational Research*, **201**, 593–600.

[55] **Munkres, J.**, (1957). Algorithms for the assignment and transportation problems, *Socity for Industrial and Applied Mathematics*, **5**, 32–38.

[56] **Bijsterbosch, J. and Volgenant, A.**, (2010). Solving the rectangular assignment problem, *Annal Operational Research*, **181**, 443–462.

EKLER

EK A : GAMS girdi dosyası
EK B : Macar algoritması javascript kodu

EK A :

```
Sets
      i araçlar / F78, F39, ... F82 /
      j talepler / F86, F87, ... F18 /
      k araç özellikleri / yan, üst, yükselen, ADR, kara /

Parameters q(j) yük miktarı
      / F86 0.77
      ⋮
      F18 1.00 / ;

Parameters p(j) dış kaynak kullanım olasılığı
      / F86 1
      ⋮
      F18 1 / ;

Parameters r(i) araç kapasitesi
      / F78 1.0
      ⋮
      F82 1.0 / ;

Parameters bbm(i) boş araç maliyeti
      / F78 599.58
      ⋮
      F82 600.18 / ;

Table t(i,j) aracın servise hazır olacağı süre ile en erken yükleme süresi arası süre
                F86 ... F18
      F78 0.795 ... 0.587
      ⋮
      F82 0.951 ... 0.743 ;

Table h(i,j) yükleme yerine gitmek için ihtiyaç duyulan süre
                F86 ... F18
      F78 1.906 ... 1.147
      ⋮
      F82 1.970 ... 1.951 ;

Table n(j,k) araç özelliklerine dair talepler
            yan üst yükselen ADR kara
      F86 0 0 0 1 0
      ⋮
      F18 0 0 0 0 0 ;

Table v(i,k) araç özellikleri
            yan üst yükselen ADR kara
      F18 1 1 0 0 0
```

```
47:       ⋮
48:       F44 0 1 0 1 1 ;
49:
50: Table d(i,j) araç konumlarından yükleme yerlerine mesafe
51:             F86 ... F18
52:       F78 d11 ... d1n
53:       ⋮
54:       F82 dm1 ... dmn ;
55:
56: Scalar a birim mesafe maliyeti / 1 / ;
57: Scalar b birim zaman maliyeti / 288 / ;
58: Scalar c dış kaynak kullanım maliyeti / 1000 / ;
59:
60: Variables
61:       x(i,j) araç atama değişkenleri
62:       y(j) dış kaynak atama değişkenleri
63:       z toplam maliyet ;
64:
65: Binary Variables
66:       x
67:       y ;
68:
69: Equations
70:       maliyet amaç fonksiyonu
71:       herTalep(j) kısıt, tüm talepler karşılanmalıdır
72:       kapasite(i) kısıt, kapasite
73:       herAraç(i) kısıt, tüm araçlar için talep bulunmalıdır
74:       özellik(k) kısıt, özellikler
75:       dışKaynakOlasılık(j) kısıt, dış kaynak ;
76:
77: maliyet.. z=e=sum((i,j),x(i,j)*(d(i,j)*a+t(i,j)*b))+sum((i,j),max(h(i,j)-t(i,j),0)*200*x(i,j))
    +sum(i,(1-sum(j,x(i,j)))*bbm(i))+sum(j,y(j)*c) ;
78:
79: herTalep(j).. sum((i),x(i,j))+y(j)=e= 1 ;
80: kapasite(i).. sum((j),x(i,j)*q(j))=l= r(i) ;
81: herAraç(i).. sum((j),x(i,j))=l= 1 ;
82: özellik(k).. sum((j),n(j,k))=e= sum((i,j),x(i,j)*n(j,k)*v(i,k))+sum(j,n(j,k)*y(j)) ;
83: dışKaynakOlasılık(j).. y(j)=l= p(j)
84:
85: Model transport /all/ ;
86: Solve transport using mip minimizing z ;
87: Display x.l, x.m, y.l, y.m;
```

EK B :

```
1: var dongu = 1;
2: while(dongu == 1) {
3:    for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
4:       var minimum = maliyet_tablo[i][0];
5:       for(j = 1; j < mal_tabl_boyutu; j++) {
6:          if(maliyet_tablo[i][j] < minimum){
7:             minimum = maliyet_tablo[i][j];
8:          }
9:       }
10:      for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++) {
11:         maliyet_tablo[i][j] = maliyet_tablo[i][j] - minimum;
12:      }
13:   }
14:   for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++) {
15:      var minimum = maliyet_tablo[0][i];
16:      for(j = 1; j < mal_tabl_boyutu; j++) {
17:         if(maliyet_tablo[j][i] < minimum){
18:            minimum = maliyet_tablo[j][i];
19:         }
20:      }
21:      for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++) {
22:         maliyet_tablo[j][i] = maliyet_tablo[j][i] - minimum;
23:      }
24:   }
25:   var sifir_sayisi;
26:   var atama;
27:   isaretlenmis_satir = [];
28:   isaretlenmis_sutun = [];
29:   for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
30:      tabu[i] = new Array(mal_tabl_boyutu);
31:   }
32:   for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
33:      for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
34:         tabu[i][j] = 0;
35:      }
36:   }
37:   var atandi = 1;
38:   while(atandi == 1){
39:      atandi = 0;
40:      for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
41:         atama = 0;
42:         sifir_sayisi = 0;
43:         for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
44:            if(maliyet_tablo[i][j] == 0){
45:               sifir_sayisi = sifir_sayisi + 1;
46:            }
47:         }
```

```
48:         for(k = 0; k < isaretlenmis_satir.length; k++){
49:           if(i == isaretlenmis_satir[k]){
50:             atama = 1;
51:           }
52:         }
53:         if(atama == 0){
54:           for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
55:             if(maliyet_tablo[i][j] == 0){
56:               for(k = 0; k < isaretlenmis_sutun.length; k++){
57:                 if(j == isaretlenmis_sutun[k]){
58:                   atama = atama + 1;
59:                 }
60:               }
61:             }
62:           }
63:           if(sifir_sayisi - atama == 1){
64:             for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
65:               if(maliyet_tablo[i][j] == 0){
66:                 atama = 0;
67:                 for(k = 0; k < isaretlenmis_sutun.length; k++){
68:                   if(j == isaretlenmis_sutun[k]){
69:                     atama = 1;
70:                   }
71:                 }
72:                 if(atama == 0) {
73:                   isaretlenmis_satir.push(i);
74:                   isaretlenmis_sutun.push(j);
75:                   tabu[i][j] = 1;
76:                   atandi = 1;
77:                 }
78:               }
79:             }
80:           }
81:         }
82:       }
83:       for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
84:         atama = 0;
85:         sifir_sayisi = 0;
86:         for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
87:           if(maliyet_tablo[j][i] == 0){
88:             sifir_sayisi = sifir_sayisi + 1;
89:           }
90:         }
91:         for(k = 0; k < isaretlenmis_sutun.length; k++){
92:           if(i == isaretlenmis_sutun[k]){
93:             atama = 1;
94:           }
95:         }
```

```
96:         if(atama == 0){
97:           for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
98:             if(maliyet_tablo[j][i] == 0){
99:               for(k = 0; k < isaretlenmis_satir.length; k++){
100:                if(j == isaretlenmis_satir[k]){
101:                  atama = atama + 1;
102:                }
103:              }
104:            }
105:          }
106:          if(sifir_sayisi - atama == 1){
107:            for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
108:              if(maliyet_tablo[j][i] == 0){
109:                atama = 0;
110:                for(k = 0; k < isaretlenmis_satir.length; k++){
111:                  if(j == isaretlenmis_satir[k]){
112:                    atama = 1;
113:                  }
114:                }
115:                if(atama == 0){
116:                  isaretlenmis_satir.push(j);
117:                  isaretlenmis_sutun.push(i);
118:                  tabu[j][1] = 1;
119:                  atandi = 1;
120:                }
121:              }
122:            }
123:          }
124:        }
125:      }
126:      if(atandi == 0){
127:        for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
128:          j = 0;
129:          while(j < mal_tabl_boyutu && atandi == 0){
130:            atama = 0;
131:            if(maliyet_tablo[i][j] == 0){
132:              for(k = 0; k < isaretlenmis_satir.length; k++){
133:                if(i == isaretlenmis_satir[k]){
134:                  atama = 1;
135:                }
136:              }
137:              for(k = 0; k < isaretlenmis_sutun.length; k++){
138:                if(j == isaretlenmis_sutun[k]){
139:                  atama = 1;
140:                }
141:              }
142:              if(atama == 0){
143:                isaretlenmis_satir.push(i);
```

```
144:                    isaretlenmis_sutun.push(j);
145:                    tabu[i][j] = 1;
146:                    atandi = 1;
147:                }
148:            }
149:            j = j + 1;
150:        }
151:    }
152: }
153: var aveb = 0;
154: while(aveb == 0){
155:    aveb = 1;
156:    var a = [];
157:    var b = [];
158:    for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
159:        a.push(1);
160:    }
161:    for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
162:        b.push(1);
163:    }
164:    for(i = 0; i < isaretlenmis_satir.length; i++){
165:        for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
166:            if(j == isaretlenmis_satir[i]){
167:                a[j] = 0;
168:            }
169:        }
170:    }
171:    var degisim = 1;
172:    while(degisim == 1){
173:        degisim = 0;
174:        for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
175:            if(a[i] == 1){
176:                for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
177:                    if(maliyet_tablo[i][j] == 0){
178:                        if (b[j] != 0){
179:                            b[j] = 0;
180:                            degisim = 1;
181:                        }
182:                    }
183:                }
184:            }
185:        }
186:        i = 0;
187:        var cikis = 0;
188:        while(i < mal_tabl_boyutu && cikis == 0){
189:            if (b[i] == 0){
190:                var atanan_column_var = 0;
191:
```

```
192:              for(j = 0; j < isaretlenmis_sutun.length; j++){
193:                if(isaretlenmis_sutun[j] == i){
194:                  atanan_column_var = 1;
195:                  if(a[isaretlenmis_satir[j]] != 1){
196:                    a[isaretlenmis_satir[j]] = 1;
197:                    degisim = 1;
198:                  }
199:                }
200:              }
201:              if(atanan_column_var == 0){
202:                degisim = 0;
203:                var silinen_sutun = i;
204:                var durdur = 0;
205:                var gecici = mal_tabl_boyutu;
206:                while(durdur == 0){
207:                  durdur = 1;
208:                  cikis = 1;
209:                  var min_2 = 10000000;
210:                  for(f = 0; f < mal_tabl_boyutu; f++){
211:                    if(maliyet_tablo[f][silinen_sutun] == 0){
212:                      min_2 = Math.min(min_2, tabu[f][silinen_sutun]);
213:                    }
214:                  }
215:                  for(f = 0; f < mal_tabl_boyutu; f++){
216:                    if(tabu[f][silinen_sutun] == min_2 && maliyet_tablo[f][silinen_sutun] == 0){
217:                      j = f;
218:                    }
219:                  }
220:                  var isaretlenmis_sutun_var = 0;
221:                  for(k = 0; k < isaretlenmis_sutun.length; k++){
222:                    if(isaretlenmis_satir[k] == j){
223:                      isaretlenmis_sutun_var = 1;
224:                      var kk = k;
225:                    }
226:                  }
227:                  if(isaretlenmis_sutun_var == 1){
228:                    gecici = silinen_sutun;
229:                    silinen_sutun = isaretlenmis_sutun[kk];
230:                    tabu[isaretlenmis_satir[kk]][isaretlenmis_sutun[kk]] = tabu[isaretlenmis_satir[kk]][isaretlenmis_sutun[kk]] + 1;
231:                    isaretlenmis_sutun[kk] = gecici;
232:                    gecici = isaretlenmis_satir[kk];
233:                    durdur = 0;
234:                  } else {
235:                    isaretlenmis_satir.push(j);
236:                    isaretlenmis_sutun.push(silinen_sutun);
237:                    aveb = 0;
```

```
238:                     }
239:                   }
240:                 }
241:               }
242:               i = i + 1;
243:             }
244:           }
245:         }
246:         var taranan;
247:         taranan = 0;
248:         for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
249:           taranan = taranan + 1 - a[i] + 1 - b[i];
250:         }
251:         var minimum;
252:         minimum = 10000000;
253:         if(taranan != mal_tabl_boyutu){
254:           sifir_bulundu = 0;
255:           while(sifir_bulundu == 0){
256:             for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
257:               for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
258:                 if(a[i] != 0 && b[j] != 0){
259:                   minimum = Math.min(minimum, maliyet_tablo[i][j]);
260:                 }
261:               }
262:             }
263:             if(minimum == 0){
264:               b[j] = 0;
265:               minimum = 10000000;
266:             } else {
267:               sifir_bulundu = 1;
268:             }
269:           }
270:           for(i = 0; i < mal_tabl_boyutu; i++){
271:             for(j = 0; j < mal_tabl_boyutu; j++){
272:               if(a[i] != 0 && b[j] != 0){
273:                 maliyet_tablo[i][j] = maliyet_tablo[i][j] - minimum;
274:               } else if(a[i] == 0 && b[j] == 0) {
275:                 maliyet_tablo[i][j] = maliyet_tablo[i][j] + minimum;
276:               }
277:             }
278:           }
279:         } else {
280:           dongu = 0;
281:         }
282:       }
```

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Arslan Taşkın

Doğum Yeri ve Tarihi: Kayseri, 1984

E-Posta: arslantaskin@yahoo.com

Lisans: Matematik Mühendisliği, 2008

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

• **Taşkın A.**, Tanyaş M. and Baskak M., 2010: A New Model for the On-line Vehicle Scheduling Problem with Drivers' Working Hours. *VIII.International Logistics & Supply Chain Congress.* November 4-5, 2010 İstanbul, Turkey.