



İntermodal Yük Taşımacılığı Ve Türkiye Hızlı Tüketim Malları Dağıtımını İçin Uygulama Denemesi

Hüseyin ERGİN*
Gülşen Serap ÇEKEROL**

Özet: Lojistik; hammaddeler, yedek parçalar, nihai ürünler olarak ürünlerin çıkış noktasından tüketim noktasına hareketini kapsamaktadır. Etkin bir taşıma hizmeti, ürüne katma değer sağladığı gibi, pazardaki rekabet gücünü de artırmaktadır. Son yıllarda taşıma türleri arasında oluşturulan kombinasyon sayesinde lojistik sektöründe sağlanan katma değer, yeni taşımacılık sistemlerinin gelişimini desteklemektedir. Tüm yük türlerinin taşınması için, değişen dağıtım gereksinimlerine cevap veren intermodal yük taşımacılığı bu gelişimin en önemli sonucudur. Taşıma, iki ya da daha fazla modun kullanımı ile dizilmiş bağlantılı taşımayı kapsamakta ve yükün standartlaştırılmış kaplar içerisinde birden fazla taşıma modunda hareket etmesi sağlanmaktadır. Türkiye lojistik boyutu ile taşımacılık hizmetini karayolu modu ile karşılamakta ve yük taşımacılığında dengesiz dağılıma neden olmaktadır. Bu nedenle intermodal yük taşıma sisteminin Türkiye’de uygulanabilirliği, oluşturulan model ile araştırılıp, intermodal yük taşıma modlarının ve rotaların bulunmasına çalışılmıştır. Model, hızlı tüketim ürünleri sektöründe uygulanarak, bulgular sonucunda taşımacılık maliyetlerini minimize eden taşıma modları ile lojistik üs olma özelliği taşıyan stratejik noktalar belirtilmiştir.

Anahtar kelimeler: Lojistik, Taşımacılık, İntermodal Taşımacılık, Hızlı Tüketim Ürünleri, Doğrusal Programlama, GAMS.

Intermodal Freight Transportation And A Case Study For The Distribution Of Fast Consumption Goods in Turkey

Abstract: Logistics comprises the movements of products-as raw materials, spare parts, and finished goods- from where they are originated to where goods are consumed. An effective transportation adds value to goods, as well as it enhances their competitive power in the marketplace. In recent years, the value added created in logistics sector owing to the combination among various modes of transportation, supports the development of new transportation systems. The intermodal transportation, which addresses varying distribution needs of all kinds of cargo, is the most important outcome of these development efforts. The system, by using two or more different modes of transportation, embraces sequential and connected transportation where the carrier is responsible for certain parts or entire transportation, and allows the cargo to move through several modes of transportation in standardized containers. In Turkey, contrary to developed countries, transportation is achieved mostly by roadway, causing imbalanced distribution of cargo transportation. Hence, in this study, applicability of intermodal transportation is analyzed with the help of the model created, and modes and routes of intermodal transportation are sought. The model has been applied in the consumer goods segment, and based on the data captured, modes of

* Prof. Dr., Dumlupınar Üniversitesi İ.İ.B.F.

** Öğr.Gör.Dr., Anadolu Üniversitesi Porsuk Meslek Yüksekokulu

transportation that minimize transportation related costs and strategic points that showed the characteristics of logistic bases have been explained.

Keywords: Logistics, Transportation, Intermodal Transportation, Fast Moving Consumer Goods) Linear Programming, GAMS.

İntermodal Yük Taşımacılığı Kavramı ve Lojistik

İntermodalite kavramı, kapıdan kapıya taşımacılık zincirinde en az iki değişik ulaşım biçimi kullanılmasını öneren bir taşımacılık sistemi olarak tanımlanmaktadır. (Glen, s.3–13.) İntermodal yük taşımacılığında, konteyner ya da treyler içerisindeki yük başlangıç noktasında son noktaya kadar taşıma türlerinin kombinasyonu ile hareket eder. Taşımacılığının başlıca özelliği, modlar arasındaki ekipmanın serbest değişimidir. Bir kamyonun konteyner parçası, bir uçağın içinde taşınabilir veya bir demiryolu aracı denizyolu taşımacılığı ile taşınabilir. İntermodal yük taşımacılığının, konteynerlerin türleri arasında aktarımını sağlayabilmek için özel tipte elleçleme ekipmanları gerektirir. Bu ekipmanlar intermodal taşımacılık üniteleri (ITU) olarak tanımlanmıştır. (Çekerol, 2007)

İntermodal yük taşımacılığı sağladığı kolaylık nedeniyle lojistik işlevinin gerçekleştirilmesinde önemli rol oynar. Lojistik, pazarlama operasyonları ve üretim ile ilgili konuları kolaylaştırarak müşteri gereksinimlerinin tatminini sağlamak amacıyla, üretim noktasından tüketim noktasına dek malların, hizmetlerin ve bunlara ilişkin enformasyonun etkili ve verimli bir şekilde akışı sağlayan ve gerektiğinde depolamanın planlandığı, kontrol edildiği ve gerçekleştirildiği bir misyon yüklenmiştir. Lojistik fonksiyonu, kolaylık, tatmin, operasyon gibi kelimeleri içinde barındırmaktadır. (Bowersox ve Closs, 1996)

İntermodal yük taşımacılığı ve lojistik işlevi üzerine literatürde bir çok çalışmanın yapıldığı görülmektedir, bu çalışmalardan birkaçı çalışmanın hazırlanmasında yol gösterici nitelik taşımıştır. Morlok ve Spasovic intermodal demiryolu-karayolu (yük taşımacılığında, drayage veya kamyonla parça yük taşımacılığı konusunda yaptıkları araştırma sonuçlarını sunmaya çalışmışlardır. (Morlok, Spasovic, s. 16–31)

Panayides makalesinde, uluslararası taşımacılığın örgütsel çevresindeki değişimleri detaylı olarak incelemekte, iktisadi intermodal taşımacılık sisteminin örgütlenmesindeki uygun idari yapının etkililiğini sağlamak için iktisadi yaklaşım uygulamalarını tartışmaktadır. (Panadiyes, s.401–414)

Parola ve Scimachen hazırladıkları makalede, İtalyanın kuzey batısında bulunan bir limana ilişkin sistemin tamamında, lojistik zincirine ile ilişkili ayrıklı olaylara ilişkin simülasyon modeli oluşturmaya çalışmışlardır. (Parola, Scimachen, s.75-88)

Boardman'ın doktora tezinde, intermodal taşımacılığın, pazarın tüm ihtiyaçlarına cevap veren bir taşımacılık türü olduğunu belirtmektedir. (Boardman, "Intermodal Transportation Routing Problem", 09.11.2005)

Türkiye ve Lojistik Sektörü

Türkiye coğrafi konumuyla kıtalararası ulaştırma ve taşıma yollarının tam kavşağında yer alan, jeo-stratejik açıdan Asya ve Avrupa ile Karadeniz ve Akdeniz arasında köprü konumunda olup üç kıtanın kesişim noktasındadır ve "yarının devleri" olarak tanımlanan "Dünyanın Yükselen 10 Büyük Pazarı"ndan bir olarak kabul edilmektedir. (Uluslararası Nakliyeciler Derneği AR-GE İstatistik Departmanı, 2002)

Türkiye'nin bölgeler arasında yapılacak her türlü ticaret ile uluslararası pazarlar arasında yapılacak yük ve yolcu taşımacılığında önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. Limanlar, demir ve karayolları bazında lojistik sektörüne yönlendirilecek yatırımlar sadece Türkiye'nin sahip olduğu doğal altyapıdan faydalanmayı sağlamakla kalmayacak, gelecek yüzyılın en önemli sektörlerinden birinde öncü ülke olmasına katkı sağlayacaktır. (Güngörürler, 2004)

Problemin Tanımı

Lojistiğin en önemli temel fiziksel ögesinin taşıma olduğu bilinmektedir, Türkiye'de taşımacılık sektöründeki dengesiz dağılım, lojistik sektöründeki büyümenin arzulanan rakamlara ulaşamamasının en önemli nedenlerindedir. Ülkemiz ulaşım sistemi içerisinde yük taşımacılığının, yüzde 92,5'i karayolu, yüzde 7,1'i demiryolu, binde 2 denizyolu aynı şekilde yine binde 2 havayolu ile gerçekleştirilmektedir. (Karaman, Kantarcı, Ünal, 2006) Türkiye, coğrafi avantajlarını çok az kullanılabilen bir ülke olmakla birlikte, fiyat rekabetinde geri kalan bir görünüm sergilemektedir.

Türkiye'nin AB'ye tam üyeliğinden önce Türk taşımacılık sektörünün altyapıya ilişkin önlemleri tamamen alması, rekabet gücü için birleşmeleri artırması ve kara taşımacılığına yaptığı yatırımları azaltması gerekmektedir. AB'ne üyeliğin resmîyet kazanması sonucu, Türkiye'nin genelinde karşılaşılacak muhtemel sorunlar taşımacılık sektörü içinde geçerli olacaktır. Bunlar mevzuatın uyumu ve uygulanmasından kaynaklanacaktır. Üyelikten sonra tamamen rekabetçi ortamın yaratıldığı AB'de Türk taşımacılık sektörünün çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. İntermodal hizmet verebilecek yatırım ve altyapısını kuran, eğitilmiş elemanlara sahip olan, kurumsallaşan ve profesyonellerce yönetilen, finansal yapısı güçlü kuruluşlar AB'nin anlayışına uyum sağlayabilecektir. (Milliyet Gazetesi, Ağustos 2003.)

Problemin Amacı

Türkiye lojistik sektöründe büyük bir paya sahip olan hızlı tüketim ürünlerinin dağıtımını karayolu modu ile gerçekleştirilmektedir. Sektördeki ürün akışı göz önüne alındığında karayollarında oluşan yoğun trafik ve karayolu taşıma modunun oluşturduğu maliyet sektöre ve ülke ekonomisine zarar vermektedir. (Çekerol, 2007)

Taşıma maliyetlerindeki azalma, rakip firmalara karşı çeşitli fiyat stratejileri geliştirme açısından üstünlük sağlarken, firmanın genel finansal yapısının da daha sağlıklı bir duruma gelmesinde önemli rol oynayacaktır. (Duhan, Sexton, 1996)

Gelişmiş ülkelerde, hızlı tüketim ürünlerinin dağıtımında, çevre Türkiye’de tüm demiryollarının, büyük limanlar ile bağlantısı, ürün dağıtımının karayolu araçları ile yapılmasını engellemektedir. Demiryolu taşımacılık maliyetleri, karayoluna göre daha düşük olması göz önüne alınarak, modlar arasında sağlanacak kombinasyon ile çevre dostu, kaza oranı düşük taşımacılık sistemi olan intermodal yük taşımacılığı sistemi Türkiye’de yaygın bir biçimde uygulanabilir. Bu nedenle çalışmanın uygulama kısmında, en dinamik sektör olan hızlı tüketim ürünleri sektörü seçilmiştir. Ürün hareketliliğinin yoğun yaşanmasına bağlı olarak, taşıma maliyetinde oluşacak minimizasyonun sektöre etkileri olumlu yönde olacağı gibi Türkiye ekonomisi üzerinde de olumlu etki yaratacaktır. (Çekerol, 2007)

Uygulamada, Türkiye’de hızlı tüketim ürünlerinin taşınmasına yönelik intermodal yük taşımacılığı ağına ilişkin modların belirlenmesine çalışılmıştır. Uygun modların belirlenmesi ile demiryolları ve liman hizmetlerindeki verimsizliğin neden olduğu lojistik maliyetlerin azalarak, Türkiye ekonomisinin rekabetçi gücünü artırması hedeflenmiştir. Türkiye’de hızlı tüketim ürünlerinin taşınmasına yönelik olarak intermodal yük taşımacılığı için optimal noktaların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle hızlı tüketim ürünleri dağıtımında yoğun olarak kullanılan rotalar temel alınmıştır, buna göre Alternatif dört rota belirlenmiştir; *Alternatif 1: İstanbul-Gaziantep, Alternatif 2: İzmir-Erzincan, Alternatif 3: İzmir-Gaziantep, Alternatif 4: İstanbul-Erzincan.* (Çekerol, 2007)

Çalışma Kısıtları

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olmasına karşın, batı bölgelerinden doğu bölgelerine doğru ürün dağıtımında karadan yapılan taşımacılık tercih edilmektedir. Hızlı tüketim ürünleri üretim yerlerinin Marmara ve Ege Bölgelerinde yoğunlaşması, ürünlerin ülkenin doğusuna yönelik tüketim noktalarına dağıtılma zorunluluğu bazı kısıtları beraberinde getirmektedir. Bunlar;

- ürünlerin dağıtılacağı tüketim merkezlerinin denizden uzak olması,

- ürünlerin dağıtılacağı tüketim merkezlerinin çoğunda havalimanının bulunmaması,
 - ürünlerin dağıtımında coğrafi yapının içsuyolu taşımacılığına uygun olmayışı,
- intermodal yük taşımacılığı sisteminde demiryolu-karayolu kombinasyonunu zorunlu hale getirmektedir. (Çekerol, 2007)

Hızlı tüketim ürünleri dağıtımına yönelik belirlenen dört alternatif rota, baş-çıkış ve son-varış noktaları ve bu noktalar arasında kalan noktalarda dahil olmak üzere intermodal yük taşımacılığı ağının oluşturulabilmesi için taşımacılığın en az iki moduna sahip olması gerekmektedir.

Hedeflenen uygulamada, karayolu modu için kullanılacak araçların taşıma süresi, yol ve hava durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Diğer yandan Türkiye’de demiryollarında varolan altyapı eksikliklerine ve gecikmelere dostu taşımacılık sistemi olan demiryolu taşımacılığı da tercih edilmesine rağmen bağlı olarak iki mod arasında taşıma süreleri açısından fark bulunmaktadır. Bu nedenle hedeflenen alternatif rotalara ilişkin modelin oluşturulmasında zaman faktörü modele katılmamıştır. Ulaşılabilecek model sonuçlarının yorumlanmasında intermodal yük taşımacılığı mantığına uygun olarak bulunan aktarma noktalarında intermodal yük taşımacılığı ekipmanlarının var olduğu varsayımıyla hareket edilmektedir. (Çekerol, 2007)

Hızlı tüketim malları dağıtımını için intermodal yük taşımacılığına ilişkin uygun modların bulunması probleminde Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelinin kullanılması uygun bulunmuştur. Çünkü oluşturulacak modelde karar değişkenleri tamsayı değeri ile ifade edilmek zorundadır. Tamsayılı doğrusal programlama modelinde işletmelerin taşıma planına ait maliyetlerinin hesaplanmasında, ileriye dönük taşıma maliyetlerinin tahmin edilmesinde, işletmelerin finansal planlarının ve dağıtım stratejilerinin kısa zamanda oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır. (Çekerol, 2007)

Tamsayılı Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, kaynak dağıtımıyla ilgili planlama ve karar vermede yöneticilere yardım etmek için dizayn edilen, sık kullanılan matematiksel bir tekniktir. (Render, 1982)

Bazı problemlerde de, karar modeli geliştirme evresinde, tamsayı değer alması öngörülen ara değişkenler kullanılır. Belirtilen durumlarla ilgili karar değişkenlerinin tamsayılı olması gereken problemlerin modellenmesi ve çözümüne ilişkin kavram ve teknikler “Tamsayılı Doğrusal Programlama” başlığı altında incelenmektedir. (Kara, 1984)

Uygulamada karşılaşılan taşıma, atama, aktarmalı taşıma, sıralama ve benzeri dağıtım problemlerinde karar değişkenlerinin tamsayı değer alması

zorunlu olur. (Kara, 1984) Türkiye’de hızlı tüketim ürünleri dağıtımında intermodal yük taşımacılığı modların bulunmasında oluşturulacak model 0–1 tamsayılı doğrusal programlama modeline uygun olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni taşıma ve aktarma faaliyetlerinin gerçekleşip gerçekleşmemesi gibi iki durumun söz konusu olmasıdır. Kurulacak modelde bir faaliyetin yapılması ya da yapılmaması gibi iki durumla karşılaşılması sonucu kullanılacak en uygun yöntem sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama modelidir.

Sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama modeli, tamsayılı doğrusal programlama modelinin özel bir durumunu yansıtır. Bu tür bir modelde, mümkün bir faaliyetin yapılması ($x=1$) ya da yapılmaması ($x=0$) anlamına gelmektedir. Bir işin yapılması ya da yapılmaması gibi durumlarda sıfır-bir tamsayılı programlama kullanılmaktadır. (Tulunay, 1980)

Modelin Formülasyonu

Sıfır-bir tamsayılı-doğrusal programlama modelinin karar modelleri maksimum model veya minimum model olarak oluşturulup amaçlara uygun karar modelleri teşkil edilir.

Modelin amacı maliyet minimizasyonu olup varsayımları şunlardır: (Kasilingam, 1988)

1. Verilen iki şehir çifti için, modlar arasında yük ayrımı olmaksızın aktarmanın kesintisiz bir şekilde gerçekleştirileceği varsayılmaktadır.
2. Büyük miktardaki yükler iki şehir arasında bir nodun (düğümün) kullanılması ile taşınmaktadır
3. Taşımacılık maliyetlerinin lineer (doğrusal) olduğu kabul edilmektedir.

Modelde kullanılacak semboller;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ şehirleri temsil etmektedir.

k : taşıma türü olmak üzere,

$C_{i,i+1,k}$: şehir i ’den $i+1$ şehrine k modu için taşıma maliyeti

$t_{i,kI}$: i şehirden mod k ’dan mod I ’ya aktarma maliyeti

Karar değişkenleri,

$$Y_{i,kI} = \begin{cases} 1, & \text{eğer mallar } i \text{ şehrinde } k \text{ modundan } I \text{ moduna aktarıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$X_{i,i+1,k} = \begin{cases} 1, & i,i+1 \text{ şehirleri arası taşımada } k \text{ modu kullanılırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Model formülasyonu;

$$z = \min \sum_i \sum_k X_{i,i+1,k} \cdot c_{i,i+1,k} + \sum_i \sum_k \sum_I Y_{i,kI} \cdot t_{i,kI} \quad (1.1)$$

Kısıtlar,

$$1. \sum_k X_{i,i+1,k} = 1, \quad \forall i \quad (1.2)$$

İki şehir arasında malların taşınmasında tek bir mod özel olarak seçilir. Modlar arasında taşıma kesintisiz gerçekleştirileceğini garanti eder.

$$2. \sum_k \sum_I Y_{i,kI} = 1, \quad \forall i \quad (1.3)$$

Şehir i de meydana gelen aktarma modun tek çeşidine özeldir.

$$3. X_{i-1,i,k} + X_{i,i+1,I} \geq Y_{i,kI}, \quad \forall i, k, I \quad (1.4)$$

Şehir i-1'den şehir i'ye k modu kullanılarak taşınan yük, şehir i 'den i+1 şehrine I modu kullanılmak üzere modal transfer yapılıyor ise i şehirinde mod k'dan mod I'ya modal transfer toplamından büyük yada eşittir.

$$4. y_{i,kI}, x_{i,i+1,k} \in \{0,1\}, \quad \forall i, k, I \quad (1.5)$$

karar değişkenleri için basit bir biçimde 0-1 kısıtıdır.

Amaç Fonksiyon

$$z = \min \sum_i \sum_k x_{i,i+1,k} \cdot c_{i,i+1,k} + \sum_i \sum_k \sum_I y_{i,kI} \cdot t_{i,kI} \quad (1.1)$$

bu formülde, iki ayrı lineer maliyet fonksiyonunun toplamıdır. Birinci maliyet terimi başlangıç noktasından-son noktaya kadar verilen miktarın taşıtılması sonucu oluşacak taşımacılık maliyeti ve ikinci maliyet terimi, taşınan malın bir moddan diğer moda aktarılma maliyetidir. Optimal çözümü, her şehir çiftinin optimal moduna karar vermek için sıfır-bir değerlerinin grubu oluşturulur.

Çözüm İşlemi:

n → şehir

m → mod

göstermek üzere çözüm alternatiflerinin sayısı m^{n-1} büyüklüğünde olur. Formülasyonda, karar değişkeni ve kısıtların çok sayıda olmalarından dolayı çözüm çok güç olur.

Şehir n-1'le (sondan bir önceki şehir) başlayan taşımacılık maliyeti artı aktarma maliyeti (aynı mod'la ya da farklı mod'la devam etmek) ile son şehrine gitmenin toplam maliyeti:

$$P_{(n-1)}(k, I) = t_{n-1,kI} + q \cdot c_{n-1,n,I} \quad \forall k \quad (1.6)$$

t : şehir n-1'de mod k'dan mod I'ya toplam aktarma maliyeti

q : taşıma miktarı (büyüklüğü)

c: n-1 ve n şehir çiftinin mod Γ 'da taşımacılık maliyeti

$P_{n-1}(k,I)$ n-1 şehirde mod k türünden mod I türüne aktarma yapılarak q miktarındaki malın toplam taşıma maliyetidir. k geliş türü belli olduğunda, n-1 şehirden çıkış için en iyi tür mod m^* 'dır. M^* değeri aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$P_{n-1}(k,m^*) = \min_I \{P_{n-1}(k,I)\} \quad \forall k \quad (1.7)$$

2 numaralı şehirden n-2 numaralı şehre kadar (i, 1 den n-2 'ye dek) en iyi taşıma modunu bulmakta kullanılacak eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$P_1(k,I) = t_{i,kI} + q.c_{i,i+1,I} + P_{i+1}(I,m^*) \quad \forall k \quad (1.8)$$

$$P_1(k,r^*) = \min_I \{P_1(k,I)\} \quad \forall k \quad (1.9)$$

şehir 1 için, şehir 2'ye giden en iyi modu bulmak için izleyen denklem,

$$P_1(s^*) = \min_k \{q.c_{1,2,k} + P_2(k,r^*)\} \quad (1.10)$$

Herhangi iki şehir çifti arasındaki modların sayısı m, rota üzerindeki şehirlerin sayısı n olmak üzere sadece $m(n-1)$ hesabını gerektirir. İntermodal taşımacılık rotasının belirlenmesinde, optimal modal kombinasyonu gerektiren çözümün işlem adımları;

Adım 1: denklem n-1 şehirden en iyi çıkış modu seçimi (1.2) ve (1.3)'de eşitliklerini kullanarak belirle.

Adım 2. 2'den n-2 'ye dek olan şehirler için en iyi çıkış modu seçimi (1.4) ve (1.5) eşitliklerini kullanarak belirle.

Adım 3. $P_1(s^*)$ 'i (1.6) eşitliğini kullanarak belirle.

Hızlı Tüketim Ürünleri Dağıtım İçin Birim Taşıma Maliyetleri

Birim taşıma maliyetlerinin hesaplanmasında iki taşımacılık modu esas alınacaktır. Taşıma faaliyeti 13 tonluk soğutma imkanına sahip frigorifik konteynerler ile yapılacağı varsayılmaktadır. Birim maliyetlerin hesaplanmasında bazı verilere ulaşılamamıştır, bu nedenle bazı maliyet kalemlerinden arındırılmıştır. Buna göre; 1 ton yükün, 1 km karayolu ile taşındığında oluşan birim maliyetler, (Çekerol, 2007)

Sabit maliyet hesabında, lastik gideri, karayolu araçları bakım gideri ve yağ gideri göz önüne alındığında 1 ton yükün 1 km taşınma maliyeti 0,0401 YTL/KM olarak hesaplanmıştır.

Personel maliyeti hesabında, 1 ton yükün 1 km taşınmasında oluşan maliyet personel maliyeti 0,0192 YTL/KM olarak hesaplanmıştır.

Yakıt maliyeti, soğutma imkanına sahip konteynerlerin kullanılması nedeniyle artmaktadır. Mazotun litre fiyatı, 2.33 YTL alınmış olup, aracın ön tarafı; 1 ton yükü 1 km taşıdığına 0,0718 YTL'lik bir maliyet artı soğutma

sistemi de 0,0089 YTL/KM'lik yakıt maliyeti vardır. Buna göre Tablo 1.'de tüm maliyetler toplamı gösterilmiştir,

Tablo 1. 13 Tonluk Frigorifik Konteynerde 1 Ton Yükün Karayolunda 1 Km Taşınma Maliyeti

Sabit Maliyet	0,0401	YTL/KM
Personel Maliyeti	0,0192	YTL/KM
Yakıt Maliyeti	0,0807	YTL/HTKM
TOPLAM	0,14	YTL/KM

1 ton yükün, 1 Km demiryolu ile taşınması sonucu oluşan birim maliyet aşağıdaki biçimde hesaplanır;

Hat kiralama maliyeti, 1 ton yükün hat kiralama maliyeti 0,0196 YTL/KM bulunmuştur.

1 adet vagon kiralama maliyeti, hesaplamalarda terör dahil olarak kabul edilirse km başına 1 ton yüke düşen pay 0.0061 YTL/KM olarak hesaplanmıştır.

Tren personel maliyeti, 1 ton yükün 1 km taşınmasındaki personel maliyeti 0,0473 YTL/KM bulunmuştur.

Bakım maliyeti, 1 ton yükün 1 Km.deki yağ malzemesi maliyeti, bakım malzemesi maliyeti, bakım işçiliği maliyeti, servis bakım işçiliği maliyeti olmak üzere toplam maliyet 0,000436 YTL/KM hesaplanmıştır.

Yakıt maliyeti, 1 ton yükün 1 Km taşınmasında ortaya çıkan yakıt maliyet 0,036564 YTL/HTKM'dir. Buna göre Tablo 2.'de 1 ton yükün 1 km taşınmasının toplam maliyeti belirtilmiştir. (Çekerol, 2007)

Tablo 2. 13 Tonluk (Reefer) Frigorifik Konteynerde 1 Ton Yükün Demiryolunda 1 Km Taşınma Maliyeti

Hat Kiralama Maliyeti	0,0196	YTL/KM
Araç Sigorta Maliyeti	0,0061	YTL/KM
Tren Personel Maliyeti	0,0473	YTL/KM
Bakım Maliyeti	0,000436	YTL/KM
Yakıt Maliyeti	0,036564	YTL/HTKM
TOPLAM	0,11	YTL/KM

Bir diğer maliyet kalemi, transfer maliyeti konteynerlerin karayolundan demiryoluna ya da demiryolundan karayoluna yükün bir moddan diğerine aktarımında ortaya çıkan maliyettir. Konteynerin vagon dan veya kara vasıtasından ambarlama yerlerine alınması ve istifli veya mukabili,

TCDD'nin geçerli olan ücretleri; • Dolu Konteyner: 26,00 YTL
• Boş Konteyner: 10,00 YTL'dir.

13 tonluk bir konteyner için 1 birim yükün transfer maliyeti 2 YTL olarak bulunur. Türkiye'de hızlı tüketim malları yük taşımacılığında minimum maliyeti veren en uygun intermodal rotaların belirlenmesinde, nüfusu ve talebi yüksek olan şehirler modele dâhil edilmiştir. Bu denli büyük bir sektörü tek bir taşımacılık rotası ile sınırlamak mümkün olmayacağından model farklı alternatifler üzerinde denenecektir. (Çekerol, 2007)

Alternatif 1 Türkiye'de hızlı tüketim mallarının üretimi, araştırma ve dağıtımında önemli paya sahip olan Marmara bölgesi ve bu bölgede yer alan İstanbul şehri Alternatif 1 için Baş-Çıkış Noktası olarak belirlenmiştir. Sektöre hizmet veren önemli üretim merkezlerinin birçoğu Marmara bölgesinde yer almaktadır. Bölgeden tüm noktalara dağıtım karayolu modu kullanılarak frigorifik konteynerlere sahip olan tırlarla gerçekleştirilmektedir. Bölgeden dağıtımı yapılan ürünlerin miktarı göz önüne alındığında, karayollarında oluşan trafik hacmi ve kaza oranı ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Marmara bölgesinde İstanbul şehrinin Baş-Çıkış Noktası olarak belirlenmesinin nedenleri;

- Önemli üretim merkezleri bu şehirdedir.
- Coğrafi konumu ile taşımacılığın tüm modlarına sahiptir
- Diğer üretim merkezlerinin bulunduğu şehirler için malların toplanabileceği lojistik üs konumundadır.
- Şehir, denizyolu yük taşımacılığı gereksinimlerini sağlayan limana sahiptir. (Çekerol, 2007)

Marmara bölgesinde özellikle sektördeki önemli kuruluşların fabrika üretim yerleri bulunmaktadır ve bu noktadan Türkiye'nin dört bir yanına mal dağıtılmaktadır ve denizyolu ile gelen yükler Haydarpaşa Limanında, 3 vardiya 24 saat hizmet vermekte ve limanda indirilen yükler TCDD'ye ait araçlarla demiryoluna kadar taşınmaktadır. (<http://www.tcdd.gov.tr>, 2007)

Bu nokta ile denizyolu ile gelen yüklerde yurtiçine yükün mesafe ve tonajına göre karayolu yada demiryolu modunun kullanılacağı kararlaştırıldıktan sonra gerekli taşıma yapılması mümkün olmaktadır. Limana gelen yükler TCCD'ye ait araçlarla istasyona taşınabilme imkanına sahiptir. Bu nedenle denizyolu ile gelen yüklerde intermodal yük taşıma sistemi içine dahil edilir. Marmara bölgesinde birçok şehirde hızlı tüketim malları üretimi yapılmaktadır, farklı üretim noktalarından gelen yükler İstanbul baş-çıkış noktasında birleştirilir ve bu noktadan taşıma gerçekleşir. (Çekerol, 2007)

Amaç, lojistik maliyetler içinde en önemli maliyet olan taşımacılık maliyetlerini en aza indirmeye çalışan 0-1 tamsayılı matematiksel

programlama modeli ile GAMS (The General Algebraic Modeling System) uygulama yazılımı ile çözülmüştür.

GAMS, matematiksel paket programlama içerisinde kullanılan en önemli programdır. Özel olarak doğrusal, doğrusal olmayan ve karmaşık tam sayı optimizasyon problemleri (minimizasyon, maksimizasyon ve simülasyon) modelleri için tasarlanmıştır. Fonksiyonel özellikleri ve elde edilen sonuçlar açısından güvenilir bir yapıya sahiptir.

GAMS programı ile İstanbul-İzmit-Adapazarı-Eskişehir-Afyon-Konya-Karaman-Adana-Gaziantep rotası için oluşturulacak matematiksel modele ilişkin minimum intermodal taşıma maliyetini veren güzergah bulunacaktır. (Çekerol, 2007)

k : taşıma türü olmak üzere, k : demiryolu, karayolu

$C_{i,i+1,k}$: şehir i'den i+1 şehrine k modu için taşıma maliyeti olmak üzere,

$t_{i,kI}$: i şehirden mod k'dan mod I'ya aktarma maliyeti,

$t_{i,demiryolu,karayolu} = 26$, $t_{i,demiryolu,demiryolu} = 0$

$t_{i,karayolu,demiryolu} = 26$, $t_{i,karayolu,karayolu} = 0$

q : taşıma büyüklüğü olmak üzere, q : 13 ton

Karar değişkenleri,

$$Y_{i,kI} = \begin{cases} 1, & \text{eğer mallar i şehrinde k modundan I moduna aktarıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$X_{i,i+1,k} = \begin{cases} 1, & \text{i,i+1 şehirleri arası taşımada k modu kullanılırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

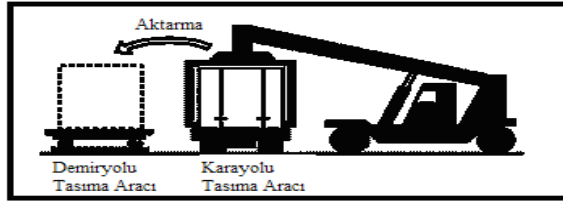
Alternatif 1'in Sonucu, uygun modlara ilişkin sonuç Cplex 9.1 çözücüsü ile elde edilmiştir. Amaç fonksiyon,

$$z = \min \sum_i \sum_k x_{i,i+1,k} \cdot c_{i,i+1,k} \cdot q + \sum_i \sum_k \sum_I y_{i,kI} \cdot t_{i,kI}$$

$$\begin{aligned}
z_{\min} = & -131.56 * x(\text{ist, izmit, demiryolu}) - 202.02 * x(\text{ist, izmit, karayolu}) \\
& - 70.07 * x(\text{izmit, adp, demiryolu}) - 67.34 * x(\text{izmit, adp, karayolu}) \\
& - 273.13 * x(\text{adp, esk, demiryolu}) - 331.24 * x(\text{adp, esk, karayolu}) \\
& - 231.66 * x(\text{esk, afyon, demiryolu}) - 305.76 * x(\text{esk, afyon, karayolu}) \\
& - 388.96 * x(\text{afyon, konya, demiryolu}) - 405.86 * x(\text{afyon, konya, karayolu}) \\
& - 147.29 * x(\text{konya, karaman, demiryolu}) - 207.48 * x(\text{konya, karaman, karayolu}) \\
& - 383.24 * x(\text{karaman, adana, demiryolu}) - 529.62 * x(\text{karaman, adana, karayolu}) \\
& - 421.85 * x(\text{adana, gazi, demiryolu}) - 376.74 * x(\text{adana, gazi, karayolu}) \\
& - 26 * y(\text{ist, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{ist, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{izmit, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{izmit, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{adp, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{adp, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{esk, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{esk, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{afyon, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{afyon, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{konya, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{konya, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{karaman, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{karaman, karayolu, demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{adana, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{adana, karayolu, demiryolu}) + z = E = 0 \\
z_{\min} = & 2028.65 \text{ YTL}
\end{aligned}$$

Bulunan sonuca göre, baş-çıkış noktası İstanbul şehrinde, son-varış noktası Gaziantep şehrine kadar taşınan 1 frigorifik (reefer) konteyner yükün minimum taşınma maliyeti 2028.65 YTL bulunmuştur. Baş-çıkış noktası İstanbul Haydarpaşa istasyonunda yük, farklı şehirlerdeki üretim merkezlerinden Şekil 1’de gösterildiği gibi demiryolu aktarma noktasına turlarla konteyner şeklinde yada limandan taşındıktan sonra, konteynerler entegre tesislerde ara araçlarla çekiciden vagona aktarılır. (Çekerol, 2007)

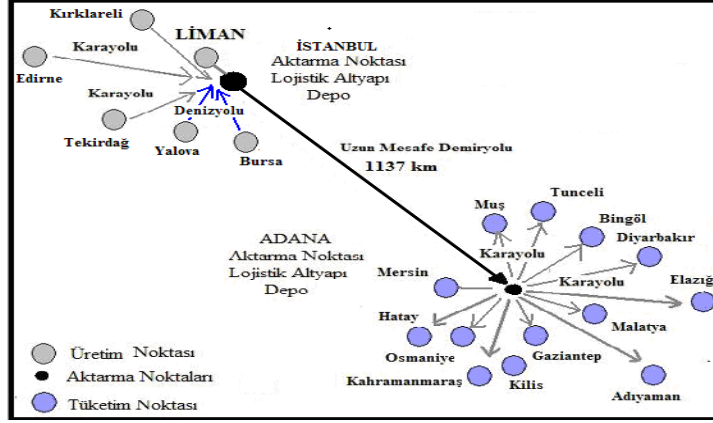
Şekil 1. Karayolu Taşıma Modundan Demiryolu Taşıma Moduna Yükün Aktarımı



Kaynak: Çekerol, 2007

Demiryoluna aktarılan yükler, birleştirilmiş intermodal yük ağı biçiminde (Şekil 2.) taşımının uzun mesafesi aktarma noktasına kadar demiryolu modu ve aktarma noktasından son-varış noktasına (noktalarına) kadar karayolu modu kullanılarak taşınır.

Şekil 2. Alternatif 1 (İstanbul-Gaziantep)



Kaynak: Çekerol, 2007

Gaziantep şehrine gönderilecek yük, Adana şehrine kadar demiryolu modu kullanılarak taşınmalıdır. Elde edilen sonuca göre, İstanbul-Adana arasındaki taşıma demiryolu, Adana şehriden sonraki taşımalar karayolu modu sonucunu vermektedir. Bu sonuç, Adana şehrinin, coğrafi konumu da göz önüne alındığında lojistik üssü olmaya uygun bir nod olarak değerlendirilebileceği sonucu olarak, İstanbul'dan Adana şehrine kadar demiryolu modu kullanılarak gelen yük, ara araçlarla çekiciye aktarılır, burada depolanabilir ya da aynı konteynerler, tırlara yüklenerek veya hiçbir aktarma yapılmadan gideceği şehre bağlı olarak link maliyeti göz önüne alınarak karayolu veya demiryolu modu ile direkt dağıtım merkezlerine gönderilebilir. Bu şehirden, Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki diğer şehirlere, taşımacılığın farklı modları kullanılarak yük dağıtımını gerçekleştirilebilir. (Çekerol, 2007)

Alternatif 2, İntermodal yük taşımacılığına model oluşturacak bir diğer alternatif için Ege Bölgesi seçilmiştir. Hızlı tüketim malları üretiminde önemli pazar payına sahip olan bölge, yarattığı ticaret hacmi ile Türkiye ekonomisinde önemli rol oynamaktadır. Hızlı tüketim ürünleri üretiminde önemli büyük fabrikalar bu bölgede yer almaktadır. Bu bölgenin en önemli ticaret merkezi İzmir şehridir. İzmir şehri, oluşturulan ikinci alternatif model için, baş-çıkış noktası olarak belirlenmiştir, bunun en önemli nedeni Ege Denizi'nin batı kıyısında konuşlanmakta olup, nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük şehri ve iş merkezidir. İlk alternatifte olduğu gibi taşımacılığın tüm modlarına sahip olan İzmir şehri, geniş tarımsal ve endüstriyel hinterlanda sahiptir. Ege Bölgesinin tarım ve endüstri limanı olan şehir, aynı zamanda ülkenin ihracatında hayati rol oynar. (Çekerol, 2007)

Her türlü yüke hizmet veren dört limana sahip olmakla beraber konteyner trafiğindeki en büyük pay, Alsancak Limanına aittir ve limanda halen

genişleme çalışmaları sürmektedir. Liman, demiryolu ve karayolu şebekesi ile bağlantılıdır. Alsancak Limanı'na yönelik talep son yıllarda Türkiye dış ticaretinin artmasıyla önemli ölçüde yükselmiş bulunmaktadır. Türkiye'nin konteyner ihracat üssü konumundaki Alsancak Limanı, aynı zamanda ülkedeki en karlı limanlar arasında yer almaktadır. Hesaplamalara göre TCDD Alsancak Limanı'ndan yıllık ortalama 30–35 milyon YTL (30–35 trilyon lira) net gelir elde etmektedir. Sektördeki dağıtım faaliyetlerinde büyük bir paya sahip olan Ege bölgesinde, İzmir şehriden gönderilen yük büyük miktarda olup taşımanın yüksek kapasiteye sahip ulaşım araçları ile yapılması daha uygun görünmektedir. (<http://www.tcdd.gov.tr>, 2007)

Ege bölgesinin bir diğer özelliği, demiryolu ağlarının en yoğun olduğu bölge olmasıdır, bu nedendir ki İzmir ilinden taşıma yapılabilmesi için 3 alternatif rota belirlenmiştir. Belirlenen rotalar ile model üç alternatif üzerinde uygulanmıştır.

Alternatif 2.1 için nodlar 1: İzmir, 2:Manisa, 3:Balıkesir, 4:Kütahya, 5:Eskişehir, 6:Ankara, 7:Kayseri, 8:Sivas, 9:Erzincan olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyon,

$$\begin{aligned} z = & -95.81 * x(\text{izmir, mans, demiryolu}) - 65.52 * x(\text{izmir, man, karayolu}) \\ & - 250.25 * x(\text{mans, blksr, demiryolu}) - 247.52 * x(\text{mans, blksr, karayolu}) \\ & - 361.79 * x(\text{blk, küth, demiryolu}) - 404.04 * x(\text{blk, küth, karayolu}) \\ & - 110.11 * x(\text{küth, esk, demiryolu}) - 141.96 * x(\text{küth, esk, karayolu}) \\ & - 363.22 * x(\text{esk, ank, demiryolu}) - 422.24 * x(\text{esk, ank, karayolu}) \\ & - 544.83 * x(\text{ank, kays, demiryolu}) - 575.12 * x(\text{ank, kays, karayolu}) \\ & - 318.89 * x(\text{kays, sivas, demiryolu}) - 353.08 * x(\text{kays, sivas, karayolu}) \\ & - 474.76 * x(\text{sivas, erz, demiryolu}) - 449.54 * x(\text{sivas, erz, karayolu}) \\ & - 26 * y(\text{izmir, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{izmir, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{blk, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{blk, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{küth, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{küth, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{esk, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{esk, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{ank, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{ank, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{kays, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{kays, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{sivas, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{sivas, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{erz, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{erz, karayolu, demiryolu}) + z = 0 \\ z_{\min} = & 2512.64 \text{ YTL} \end{aligned}$$

Alternatif 2.2 için nodlar, 1:İzmir, 2:Manisa, 3:Uşak, 4:Afyon, 5:Eskişehir, 6:Ankara, 7:Kayseri, 8:Sivas, 9:Erzincan olarak belirlenmiştir, Amaç fonksiyon,

$$\begin{aligned} z = & -95.81 * x(\text{izmir, mans, demiryolu}) - 65.52 * x(\text{izmir, usak, karayolu}) \\ & - 316.03 * x(\text{mans, usak, demiryolu}) - 351.26 * x(\text{mans, usak, karayolu}) \\ & - 193.05 * x(\text{usak, afyon, demiryolu}) - 207.48 * x(\text{usak, afyon, karayolu}) \\ & - 231.66 * x(\text{afyon, eskişkiş, demiryolu}) - 305.76 * x(\text{afyon, eskişkiş, karayolu}) \\ & - 363.22 * x(\text{eskişkiş, ankara, demiryolu}) - 422.24 * x(\text{eskişkiş, ankara, karayolu}) \\ & - 544.83 * x(\text{ankara, kayseri, demiryolu}) - 575.12 * x(\text{ankara, kayseri, karayolu}) \\ & - 318.89 * x(\text{kayseri, sivas, demiryolu}) - 353.08 * x(\text{kayseri, sivas, karayolu}) \\ & - 474.76 * x(\text{sivas, erz, demiryolu}) - 449.54 * x(\text{sivas, erz, karayolu}) \\ & - 26 * y(\text{izmir, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{izmir, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{usak, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{usak, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{afyon, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{afyon, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{esk, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{esk, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{ank, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{ank, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{kays, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{kays, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{sivas, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{sivas, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{erz, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{erz, karayolu, demiryolu}) + z = 0 \\ z_{\min} = & 2533.96 \text{ YTL} \end{aligned}$$

Alternatif 2.3 için oluşturulan rota 1:İzmir, 2:Manisa, 3:Uşak, 4:Afyon, 5:Konya, 6:Karaman, 7:Niğde, 8:Kayseri, 9:Sivas, 10:Erzincan, Amaç fonksiyon,

$$\begin{aligned}
z = & -95.81 * x(\text{izmir ,mans ,demiryolu}) - 65.52 * x(\text{izmir ,mans ,karayolu}) \\
& - 316.03 * x(\text{mans ,usak ,demiryolu}) - 351.26 * x(\text{mans ,usak ,karayolu}) \\
& - 193.05 * x(\text{usak ,afyon ,demiryolu}) - 207.48 * x(\text{usak ,afyon ,karayolu}) \\
& - 388.29 * x(\text{afyon ,konya ,demiryolu}) - 405.86 * x(\text{afyon ,konya ,karayolu}) \\
& - 147.29 * x(\text{konya ,krmn ,demiryolu}) - 207.48 * x(\text{konya ,krmn ,karayolu}) \\
& - 273.13 * x(\text{krmn ,nigde ,demiryolu}) - 345.8 * x(\text{krmn ,nigde ,karayolu}) \\
& - 183.04 * x(\text{nigde ,kays ,demiryolu}) - 229.32 * x(\text{nigde ,kays ,karayolu}) \\
& - 318.89 * x(\text{kays ,sivas ,demiryolu}) - 353.08 * x(\text{kays ,sivas ,karayolu}) \\
& - 474.76 * x(\text{sivas ,erz ,demiryolu}) - 449.54 * x(\text{sivas ,erz ,karayolu}) \\
& - 26 * y(\text{izmir ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{izmir ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{usak ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{usak ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{afyon ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{afyon ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{konya ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{konya ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{krmn ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{krmn ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{nigde ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{nigde ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{kays ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{kays ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{sivas ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{sivas ,karayolu ,demiryolu}) \\
& - 26 * y(\text{erz ,demiryolu ,karayolu}) - 26 * y(\text{erz ,karayolu ,demiryolu}) + z = 0 \\
z_{\min} = & 2386.67 \text{ YTL}
\end{aligned}$$

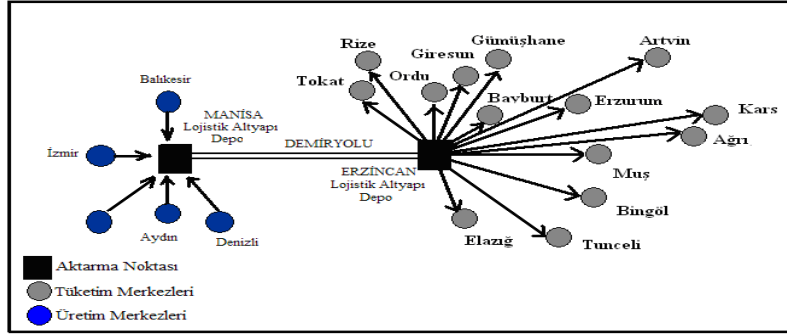
Alternatif 2'nin Sonucu, Türkiye hızlı tüketim ürünleri dağıtımında, Alternatif 2 için oluşturulan üç farklı rotada, intermodal yük taşımacılığına en uygun modlara ilişkin sonuç Cplex 9.1 çözücüsü ile elde edilmiştir. (Tablo3)

Tablo 3. Alternatif 2'nin Çözümü (İzmir-Erzincan)

Şeh.	Alternatif 2.1 Gir.Modu/ Çık.Modu	Linke Bağlı Maliyet	Alternatif 2.2 Gir.Modu/ Çık.Modu	Linke Bağlı Mal.	Alternatif 2.3 Gir.Modu/ Çık.Modu	Linke Bağlı Mal.
1-2	Kar.,Dem. Deniz./Kar	65.52	Kar.,Dem. Deniz./Kar	65.52	Kar.,Dem. Deniz./Kar	65.52
2-3	Kar/Kar.	247.52	Dem/Dem.	316.03	Dem/Dem.	316.03
3-4	Dem/Dem.	361.79	Dem/Dem.	193.05	Dem/Dem.	193.05
4-5	Dem/Dem.	110.11	Dem/Dem.	231.66	Dem/Dem.	388.96
5-6	Dem/Dem.	363.22	Dem/Dem.	363.22	Dem/Dem.	147.29
6-7	Dem/Dem.	544.83	Dem/Dem.	544.83	Dem/Dem.	273.13
7-8	Dem/Dem.	318.89	Dem/Dem.	318.89	Dem/Dem.	183.04
8-9	Dem/Dem.	474.76	Dem/Dem.	474.76	Dem/Dem.	318.89
9-10					Dem/Dem.	474.76
Top. Mal.	$z_{\min} = 2512.64 \text{ YTL}$		$z_{\min} = 2533.96 \text{ YTL}$		$z_{\min} = 2386.67 \text{ YTL}$	

Üçüncü rota intermodal yük taşımacılığı için en düşük maliyeti vermektedir. Bu sonuca göre, baş-çıkış noktası İzmir şehrinde yüklenen bir konteyner yükü, Manisa şehrine kadar karayolu modu ile ve bu noktada demiryolu moduna aktarıldıktan sonra, Uşak, Afyon, Konya, Karaman, Niğde, Kayseri, Sivas, Erzincan şehrine kadar demiryolu modu ile taşınması uygun bulunmuştur. (Şekil 3)

Şekil 3. Alternatif 2 İçin İntermodal Yük Ağı



Kaynak: Çekerol, 2007

İntermodal yük taşımacılığının teorisi gereği uzun mesafe taşımalarında demiryolu taşımacılığı uygun olmaktadır. Demiryolu taşımacılığının başlayacağı noktada yüklerin istiflenmesi ve birleştirilmesi gerekmektedir, bu gereklilik doğrultusunda İzmir şehri, Ege Bölgesinde demiryolu taşımacılığı için uygun bir başlangıç modu değildir, bir sonraki nokta Manisa şehri lojistik altyapısının oluşturulması uygun nokta olarak bulunmuştur. İzmir şehri ile Manisa şehri arasındaki demiryolu link mesafesi kısa olmasına karşın karayolu ile sağlanacak maliyet az gibi görünse de toplam maliyet içinde büyük bir paya sahip olacaktır. Bu nedenle büyük hacimli taşımaların yapılabilmesi için yüklerin Manisa şehrine kadar karayolu modu kullanılarak taşınması optimum sonuç vermektedir. Son-varış noktası olarak belirlenen Erzincan şehrine kadar taşıma demiryolu modu ile sağlanmalıdır. Erzincan şehri coğrafi konumu itibari ile değerlendirildiğinde Doğu Anadolu bölgesinde lojistik üs olabilecek bir şehir konumundadır, ek olarak özellikle Karadeniz bölgesinde demiryolu ağının az olması göz önüne alındığında doğu Karadeniz bölgesindeki tüketim merkezleri içinde bir depo özelliği taşıyabilecek coğrafi konumdadır. (Çekerol, 2007)

Alternatif 3, Alternatif 3 İzmir-Gaziantep arasında oluşturulacak intermodal yük taşımacılığı ağı, iki farklı rota üzerinde denenecektir.

Buna göre ilk rota, Alternatif 3.1 modelinde, $i = 1,2,3,\dots,n$ şehirleri temsil etmek üzere, taşıma planına göre şehirler 1:İzmir, 2:Manisa, 3:Uşak,

4:Afyon, 5:Konya, 6:Karaman, 7:Adana, 8:Gaziantep olarak belirlenmiştir.
Amaç fonksiyon,

$$\begin{aligned} z_{\min} = & -95.81 * x(\text{izmir, mans, demiryolu}) - 65.52 * x(\text{izmir, mans, karayolu}) \\ & - 316.03 * x(\text{mans, usak, demiryolu}) - 351.26 * x(\text{mans, usak, karayolu}) \\ & - 193.05 * x(\text{usak, afyon, demiryolu}) - 207.48 * x(\text{usak, afyon, karayolu}) \\ & - 388.96 * x(\text{afyon, konya, demiryolu}) - 405.86 * x(\text{afyon, konya, karayolu}) \\ & - 147.29 * x(\text{konya, karaman, demiryolu}) - 207.48 * x(\text{konya, karaman, karayolu}) \\ & - 383.24 * x(\text{karaman, adana, demiryolu}) - 529.62 * x(\text{karaman, adana, karayolu}) \\ & - 421.85 * x(\text{adana, gazi, demiryolu}) - 376.74 * x(\text{adana, gazi, karayolu}) \\ & - 26 * y(\text{mans, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{mans, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{usak, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{usak, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{afyon, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{afyon, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{konya, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{konya, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{karaman, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{karaman, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{adana, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{adana, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{gazi, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{gazi, karayolu, demiryolu}) + z = E = 0 \\ z_{\min} = & 1922.83 \text{ YTL} \end{aligned}$$

Alternatif 3.2’de $i = 1, 2, 3, \dots, n$ şehirleri temsil etmek üzere, taşıma planına göre şehirler 1:İzmir, 2:Aydın, 3:Denizli, 4:Afyon, 5:Konya, 6:Karaman, 7:Adana, 8:Gaziantep olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyon,

$$\begin{aligned} z_{\min} = & -377.52 * x(\text{izmir, ayd, demiryolu}) - 229.32 * x(\text{izmir, ayd, karayolu}) \\ & - 187.33 * x(\text{ayd, denizli, demiryolu}) - 227.50 * x(\text{ayd, denizli, karayolu}) \\ & - 374.66 * x(\text{denizli, afyon, demiryolu}) - 398.58 * x(\text{denizli, afyon, karayolu}) \\ & - 388.96 * x(\text{afyon, konya, demiryolu}) - 405.86 * x(\text{afyon, konya, karayolu}) \\ & - 147.29 * x(\text{konya, karaman, demiryolu}) - 207.48 * x(\text{konya, karaman, karayolu}) \\ & - 383.24 * x(\text{karaman, adana, demiryolu}) - 529.62 * x(\text{karaman, adana, karayolu}) \\ & - 421.85 * x(\text{adana, gazi, demiryolu}) - 376.74 * x(\text{adana, gazi, karayolu}) \\ & - 26 * y(\text{mans, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{mans, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{usak, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{usak, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{afyon, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{afyon, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{konya, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{konya, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{karaman, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{karaman, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{adana, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{adana, karayolu, demiryolu}) \\ & - 26 * y(\text{gazi, demiryolu, karayolu}) - 26 * y(\text{gazi, karayolu, demiryolu}) + z = E = 0 \end{aligned}$$

$$z_{\min} = 2139.54 \text{ YTL}$$

Alternatif 3'ün Sonucu, Türkiye hızlı tüketim ürünleri dağıtımında, Alternatif 3 için oluşturulan iki farklı rotada, intermodal yük taşımacılığına en uygun mod Alternatif 3.1'dir.(Tablo 4)

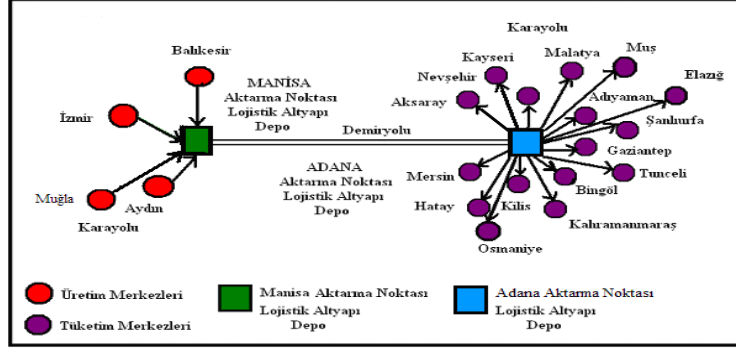
Tablo 4. Alternatif 3.1'in Çözümü (İzmir-Gaziantep)

NODLAR	Giriş Modu	Çıkış Modu	Linke Bağlı Maliyet
İzmir-Manisa	Karayolu Demiryolu Denizyolu	Karayolu	65.52
Manisa-Uşak	Demiryolu	Demiryolu	316.03
Uşak-Afyon	Demiryolu	Demiryolu	193.05
Afyon-Konya	Demiryolu	Demiryolu	388.96
Konya-Karaman	Demiryolu	Demiryolu	147.29
Karaman-Adana	Demiryolu	Demiryolu	383.24
Adana-Gaziantep	Karayolu	Karayolu	376.74

Taşımacılık zincirinin, başlangıcı ve sonunun veya yükün toplanması ve dağıtılması kısmının karayolu ile yapılması işlemine drayage olarak adlandırılmaktadır, verilen tanımda da belirtildiği gibi alternatif 3 için oluşturulan modellerin hepsi drayage biçiminde gerçekleştirilecek intermodal taşımadır. (Çekerol, 2007)

Elde edilen maliyet sonuçları incelendiğinde, minimum maliyet veren rota Alternatif 3.1'dir ve İzmir şehri baş-çıkış noktası olmak üzere, Manisa şehrine kadar yükler karayolu modu kullanılarak taşındıktan sonra Manisa şehrinde aktarma yapılarak demiryolu moduna geçilir, Uşak, Afyon, Konya, Karaman, Adana şehirleri arasında demiryolu modu taşınması yapıldıktan sonra tekrar aktarma yapılarak Gaziantep şehrine kadar karayolu modu ile taşınması maliyeti optimum noktaya ulaştırmaktadır (Şekil 4). (Çekerol, 2007)

Şekil 4. Drayage İntermodal Yük Taşıma (İzmir-Gaziantep)



Kaynak: Çekerol, 2007

Alternatif 1’de İstanbul-Gaziantep rotasında, Adana şehri, Lojistik Üs olabilecek nokta olarak belirlenmişti, Alternatif 3 içinde aynı sonuca ulaşmak mümkündür. Ege bölgesinden Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerine taşınacak yükler için, Manisa ve Adana şehirlerinde gerekli altyapı oluşturulması durumunda lojistik üs olabilecek stratejik noktada bulunmaktadır. (Çekerol, 2007)

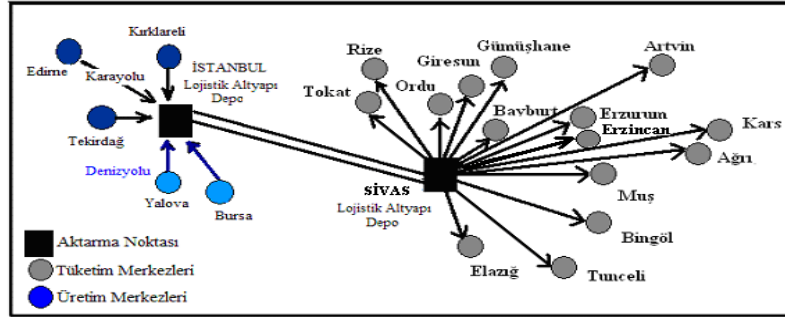
Alternatif 4, Alternatif 4 modelinde, $i = 1,2,3,\dots,n$ şehirleri temsil etmek üzere $i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$ olmak üzere, alternatif 4’de yükün taşınacağı nodlar, 1:İstanbul, 2:İzmit 3:Adapazarı, 4:Eskişehir, 5:Ankara, 6:Kayseri, 7:Sivas, 8:Erzincan olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyon,

$$\begin{aligned}
 z_{\min} = & -131.56 * x(\text{ist,izmit,demiryolu}) - 202.02 * x(\text{ist,izmit,karayolu}) \\
 & - 70.07 * x(\text{izmit,adp,demiryolu}) - 67.34 * x(\text{izmit,adp,karayolu}) \\
 & - 273.13 * x(\text{adp,esk,demiryolu}) - 331.24 * x(\text{adp,esk,karayolu}) \\
 & - 363.22 * x(\text{esk,ank,demiryolu}) - 422.24 * x(\text{esk,ank,karayolu}) \\
 & - 544.83 * x(\text{ank,kays,demiryolu}) - 575.12 * x(\text{ank,kays,karayolu}) \\
 & - 318.89 * x(\text{kays,sivas,demiryolu}) - 353.08 * x(\text{kays,sivas,karayolu}) \\
 & - 474.76 * x(\text{sivas,erz,demiryolu}) - 449.54 * x(\text{sivas,erz,karayolu}) \\
 & - 26 * y(\text{ist,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{ist,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{izmit,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{izmit,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{adp,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{adp,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{esk,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{esk,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{ank,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{ank,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{kays,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{kays,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{sivas,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{sivas,karayolu,demiryolu}) \\
 & - 26 * y(\text{erz,demiryolu,karayolu}) - 26 * y(\text{erz,karayolu,demiryolu}) + z = E = 0
 \end{aligned}$$

$$z_{\min} = 2164.24 \text{ YTL}$$

Alternatif 4'ün Sonucu, hızlı tüketim ürünleri dağıtımında, intermodal yük taşımacılığı modlarının belirlenmesi için oluşturulan Alternatif 4'e ilişkin modelde minimum taşıma maliyeti 2164.24 YTL olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre, İstanbul şehrinde birleştirilen yükler, bu noktada demiryolu moduna aktarıldıktan sonra İzmit, Adapazarı, Eskişehir, Ankara, Kayseri, Sivas, şehrine kadar demiryolu modunda taşındıktan sonra Sivas şehrinde Erzincan ve diğer Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu bölgesindeki şehirlere karayolu modu kullanılarak taşınması optimum sonucu vermektedir (Şekil 5).(Çekerol, 2007)

Şekil 5. İstanbul-Erzincan İntermodal Yük Taşıma Ağı



Kaynak: Çekerol, 2007

Sonuç

Türkiye'de iç kısımlara doğru yapılan taşımalar için karayolu-demiryolu kombinasyonu ile intermodal yük taşıması öngörülmektedir. Karayolu-Demiryolu bileşiminden oluşan intermodal yük taşımasında, taşımanın büyük kısmında demiryolu modu kullanılmaktadır. Demiryolunun büyük miktarlarda yükün bir seferde taşınmasına olanak sağlaması yükün boşaltıldığı noktada da lojistik altyapının gerekliliğini ortaya koymaktadır. 15 vagon yani birdiğer ifade ile 30 konteynerlik yükün bir seferde taşınması sonucu, 30 tırın karayolunda olmadığı anlamına gelmektedir. TCDD'de üçüncü tarafların mülkiyetindeki trenlerin işletilmesine ilişkin yönetmeliğin, yük taşıma hizmetlerinde TCDD tekeline son vermesi sonucu, demiryolunda oluşacak gecikmelerin giderilmesiyle demiryolu taşımacılığına olan talebi arttıracaktır. Bu gelişme, intermodal yük taşımacılığını desteklemektedir.

İntermodal yük taşımacılığına yönelik yapılan uygulama denemesinde, tüm alternatiflerde elde edilen sonuçların ortak noktası, uzun mesafeli taşımalarda demiryolu modunun taşıma maliyetlerini azalttığı yönündedir. Marmara ve Ege bölgelerindeki üretim merkezlerinden, Akdeniz, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerindeki tüketim merkezlerine ürün dağıtımında, İstanbul, Manisa, Adana, Erzincan ve Sivas şehirleri lojistik üs olarak kullanılabilir stratejik noktada buldukları

sonucuna varılmıştır. Uygun bölgelerde şirketlerin ulusal demiryolu ulaşım ağına ile bağlanması (iltisak), istasyon işletimi ve demiryollarının kullanılması teşvik edilmeli ve kolaylaştırılmalıdır. Bulunan stratejik noktalarda, büyük kapasiteli taşıtlara, yüksek hızla, güvenli ve en verimli bir şekilde hizmet veren lojistik altyapının oluşturulması, ülke taşımacılık sektöründe dengeli dağılım sağladığı gibi, trafik kazalarında azalma ve çevreye duyarlı taşıma sistemlerinin gelişimine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Bowersox, Donald J., Closs, David J. Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process. McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore. 1996.

Kara, İmdat, Tamsayılı ve Dinamik Programlamaya Giriş, Anadolu Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 1984.

Kasilingam, Raja G. Logistics And Transportation Design And Planning, Kluwer Academic Publishers, Third Printing, Massachusetts Usa, 1998.

Orhan, Osman Z., Dünyada Ve Türkiye’de Lojistik Sektörünün Gelişimi, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No:2003-09, Baskı Mega Ajans, İstanbul, Ekim 2003.

Render, Barry, Quantitative Analysis For Management, Allyn And Bacon, Inc., Boston, 1982.

Tulunay, Yılmaz, Matematik Programlama Ve İşletme Uygulamaları. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, 1980.

Sempozyum ve Kongre Bildirileri

Glen D Este, “An Event-Based Approach to Modelling İntermodal Freight Systems”, In Proceedings of 7 th WCTR, Vol. 4, Sydney, Australia, 1995.

Karaman, Süleyman, Kantarcı, Muammer Ve Ünal, Semiha, “Demiryolu Sistemlerini Geliştirme Stratejileri”, Türkiye’de Demiryolu Çeken Araçları Üretim Teknolojileri Sempozyumu, 23–24 Haziran, Eskişehir, 2006.

Dergiler

Duhan, A.C., Sexton, J.R., “Spatial Competititon Uniform Pricing And Transportation Efficiency İn The California Processing”, American Journal Of Agricultural Economics, 1996.

Francesco Parola, Anna Scimachen, İntermodal Container Flows in A Port System Network: Analysis fo Possible Growths Via Simulation Models, International Journal of Production Economics, 97 , 2005, s.75-88

Güngörürler, Sevim, “Ticaretin Vazgeçilmezi Lojistik Sektöründe Son Gelişmeler”, İzmir Ticaret Odası, Pusula Dergisi, Sayı:11, İzmir, 2004.

Morlok, EK; Spasovic, Ln, “Redesigning Rail-Truck İntermodal Drayage Operations For Enhanced Service And Cost Performance”, Journal of the Transportation Research Forum,1994.

Photes M. Panadiyes, Economic Organization of Intermodal Transport, Transport Reviews,, Vol. 22, No.4, 2002.

Tezler

Çekerol, Gülsen Serap, “Lojistik Açıdan Şntermodal Yük Taşımacılığı ve Türkiye Hızlı Tüketim Ürünleri Dağıtımını İçin Bir Uygulama” Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi. 2007.

İnternet Kaynakları

Dünya Mal Ticaretinin Akışı ve Lojistik Pazarı”, Uluslararası Nakliyeciler Derneği AR-GE İstatistik Departmanı, İstanbul, 25 Kasım 2002.
<http://www.tcdd.gov.tr/liman/haydarpasa.htm>, Erişim Tarihi, (20.05.2007).

Milliyet Gazetesi, “Taşımacılık”,
<http://www.milliyet.com.tr/ozel/Helsinki/tasimacilik/tas01-html>, Erişim Tarihi, (12.07.2003).

Bonnie Boardman, “Intermodal Transportation Routing Problem”,
http://ie.uta.edu/researchfiles/BonnieBoardman_96/Intermodal.PDF, Erişim Tarihi, (11.10.2007).