

Orman Ürünlerinin Nakliyatının Planlanmasında Ağ (Network) Modeli Yaklaşımı

Abdullah E. Akay^{1*} ve Orhan Erdaş¹

¹ KSÜ, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

* Tel: 344 223 7666/453 Faks: 344 221 7244, e-mail: akay@ksu.edu.tr

Kısa Özet

Çok sayıda alternatif güzergahın değerlendirilmesini ve maliyeti en aza indiren alternatifin belirlenmesini gerektiren nakliyat problemleri oldukça karmaşıktır. Orman ürünlerinin nakliyatının planlanmasında ve en uygun güzergahın sistematik olarak araştırılmasında bilgisayar destekli modeller kullanılabilir. Bu çalışmada, orman ürünlerinin nakliyatının planlamasında yaygın olarak kullanılan ağ modeli yaklaşımı tanıtılmış ve ağ modeli tabanlı Network 2001 yazılımının kullanıldığı basit bir uygulama ile bu modelin çözüm kapasitesi sunulmuştur. Bu uygulamada, çok sayıda orman ürünü, rampalar ve depolar dikkate alınarak nakliyat maliyetini en aza indiren güzergah araştırılmıştır. Ayrıca, kamyonla nakliyat giderleri ve orman ürünlerinin tahmini depo satış fiyatları dikkate alınarak net karı en yüksek olan güzergah bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Orman ürünleri nakliyatı, ağ modeli, network 2001

1. Giriş

Orman ürünleri üretim işlerinin planlanması, orman ürünlerinin üretimi, bölmeden çıkarma ve nakliyat gibi ormancılık çalışmalarının kendi işlerinde ve birbirleri arasında etkin ve uyumlu tasarımı ve uygulamasını gerektiren oldukça karmaşık bir sorundur (Erdaş, 1986). Bu çalışmalar arasında, orman ürünlerinin nakliyatı toplam üretim maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Acar ve Eroğlu,

2001). Bu nedenle, en uygun (en az maliyet/en yüksek net kar) nakliyat planının geliştirilmesi ülke ekonomisi açısından giderek artan bir öneme sahiptir.

Orman ürünlerinin nakliyatı tali ve ana nakliyat olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır (Aykut, 1985). Tali nakliyat aşamasında orman ürünlerinin kesim yerlerinden yol kenarlarında düzenlenen geçici istif yerlerine (rampa) taşınırken, ana nakliyat aşamasında ise rampalarda toplanan ve istiflenen ürünler kamyonlarla orman depolarına ulaştırılır. Orman ürünlerinin üretim maliyetinin yaklaşık %40'ını ana nakliyat oluşturmaktadır (Acar, 1998). Ana nakliyatın maliyetini etkileyen en önemli faktörler; aracın saatlik birim maliyeti, araç hızı, taşıma kapasitesi, yolun eğimi ve uzunluğu, yol tipi ve yolun durumudur.

Temelde planlayıcının tecrübelerine dayalı olan geleneksel yöntemler en uygun nakliyat planının geliştirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden, orman ürünlerinin nakliyatının planlanmasında bilgisayar destekli modeller geliştirilerek, zaman ve ekonomik yönden önemli tasarruflar yapılması amaçlanmıştır. 1980'lerin sonlarında, bilgisayar teknolojisinde ve modern matematiksel algoritmalarda meydana gelen gelişmeler, en düşük maliyetli mesafenin bulunmasını gerektiren nakliyat problemlerinin çözümünde cazip alternatif metotların geliştirilmesine yardımcı olmuştur (Sessions ve ark., 2001). Ağ modelleri olarak bilinen bu metotlar en kısa yolun bulunması, en düşük maliyetli mesafenin bulunması, en uygun proje planlaması, maksimum değer akışının bulunması ve en uygun görev tahsisinin yapılması gibi problemlerin çözümünde kullanılırlar (Başkent, 2004).

Schnelle (1980), "Prorate" algoritması ile MINCOST yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımın amacı, orman ürünlerinin nakliyatının planlamasında, giriş düğüm noktaları (üretim noktaları) ile orman depoları arasındaki en düşük maliyetli güzergahı belirlemektir. Ancak, bu yazılım çok sayıda düğüm noktaları (nodes) arasındaki linklere (arcs) ait yol yapım masraflarının hesaplandığı problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Yazılımın bu hatasını gidermek ve giriş düğüm noktaları ile depolar arasında oluşturulabilecek alternatif güzergahların sayısını artırmak için Weintraub ve Dreyfus (1985) en kısa mesafenin bulunması yaklaşımına dayalı NETCOST yazılımını geliştirmiştir.

1985 yılında, Sessions "Prorate" algoritmasına benzer bir metot kullanarak NETWORK yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımı benzerlerinden üstün kılan önemli nitelikleri vardır. Yazılımda kullanılan algoritma, üretilen orman ürünlerinin zaman periyotlarına ve hacimlerine göre sınıflandırıldığı giriş düğüm noktaları ile başlamakta ve en kısa mesafe problemini değişken (nakliyat maliyeti) maliyetleri, sabit maliyetleri (yol yapım maliyeti) ve akış miktarını (taşınan orman ürününün hacmi) dikkate alarak çözmektedir. Amaç fonksiyonunda minimum maliyeti veya maksimum net karı hedefleyen NETWORK yazılımı, planlayıcılara nispeten büyük nakliyat problemlerinin (5000 link, 3500 düğüm noktası ve 2000 giriş düğüm noktası) çözümünde çok sayıda zaman periyotlarını ve orman ürünlerini değerlendirme imkanı sağlamaktadır. Bu yazılımın eğitim ve ticari amaçlı geliştirilen ileri versiyonu olan NETWORK II (Sessions, 1985), Kuzey Amerika'da çeşitli ormancılık çalışmalarında, orman endüstrisinde ve bilimsel araştırmalarda oldukça yaygın olup ve başarı ile kullanılmaktadır.

Orman ürünlerinin nakliyatı problemlerine, doğrusal programlama tabanlı yazılımlarla oldukça başarılı çözümler üretilmiştir. Doğrusal programlama, Amerika

Birleşik Devletleri'nde geliştirilen stratejik ormancılık planlamalarında, 1970'lerin başından günümüze kadar yaygın olarak kullanılan tekniktir. Bu tekniğin temel avantajı, problemlere kesin sonuç üretmesi ve bir amaç fonksiyonunun yanında birden çok kısıtlayıcıyı sınavabilmesidir (Nelson ve ark., 1991). Johnson ve ark. (1987), doğrusal programlama tabanlı FORPLAN yazılımını geliştirerek fonksiyonel planlama ile arazi kullanım planlamasını bir arada gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Bu yazılımın algoritmasında, orman alanındaki tüm arazi ve su kaynaklarını temsil eden çok sayıda karar verme değişkenine yer verilmiştir. Stratejik planlamalarda kullanılmak üzere, Amerika Birleşik Devletleri'nin Orman Servisi (USDA Forest Service, 1998) tarafından bir diğer doğrusal programlama tabanlı SPECTRUM yazılımı geliştirilmiştir. FORPLAN yazılımı ormancılık çalışmalarının planlanmasında ekonomik verimlilik üzerinde yoğunlaşırken, SPECTRUM yazılımı ekosistem yönetimi sorunlarına da temas etmiştir.

Geniş alanları kaplayan ormanların planlanmasında, konumsal kısıtlayıcıların taktiksel ve işlevsel anlamda oldukça komplike olabilmeleri nedeniyle problemin çözüm alanı genişlemekte ve mevcut yazılımların sınırlarını aşabilmektedir. Bu nedenle, daha az maliyette ve çözüm zamanında en uygun çözümü sunabilen "heuristic" (sezgisel) teknikler geliştirilerek, nakliyat ve kaynakların yönetimi problemlerine uygulanmıştır. Sessions and Sessions (1993), orman ürünlerinin zamana bağlı üretiminin düzenlenmesinde ve nakliyat planının geliştirilmesinde bir seri "heuristic" kuram serisine bağlı olan SNAP yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımda "heuristic", çok sayıda ağaç türlerini, üretim maliyetlerini, alternatif orman depolarını, bölmeden çıkarma tekniklerini, satış fiyatlarını ve yaban hayvanları kısıtlayıcılarını dikkate alarak, rastlantısal araştırma ve en kısa mesafe algoritması yardımı ile taktiksel ormancılık planlaması problemlerini çözmektedir.

DOS işletim sistemine uyumlu geliştirilen NETWORK II yazılımının modern versiyonu olan NETWORK 2000 yazılımı, Chung ve Sessions (2000) tarafından Microsoft Windows işletim sistemine uyumlu olarak geliştirilmiştir. Bu yeni versiyon ile yazılımın kullanıcı ara yüzünün kullanılabilirliğinin iyileştirilmesi ve çözülebilir problem büyüklüğünün artırılması (20000 link, 20000 düğüm noktası ve 5000 giriş düğüm noktası) amaçlanmıştır. NETWORK 2000 yazılımında, "heuristic" çözüm teknikleri kullanılarak çözüm kapasitesi geliştirilmiştir. Ayrıca, yazılım Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) formatına uyumlu ağ verilerini işleme özelliğe sahiptir. Bu yazılımın yeni versiyonu olan NETWORK 2001, Sessions ve ark. (2001) tarafından geliştirilen yeni bir algoritmayı temel alarak Chung ve Sessions (2001) tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılım, bileşenlerinin önem derecelerini dikkate alan bir amaç fonksiyonu kullanarak, maliyetin veya kullanıcı tarafından belirlenebilen özneliklerin en uygun değerlerine ulaştıkları güzergahı tespit etmektedir.

Bu çalışmanın ana amacı; orman ürünlerinin nakliyatının planlamasında kullanılan ağ modeli yaklaşımının gerisindeki metodu tanıtmak ve basit bir uygulamada ağ modeli tabanlı geliştirilen Network 2001 yazılımını kullanarak bu modelin çözüm kapasitesini araştırmaktır. Uygulamada, Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü, Başkonuş Orman İşletme Şefliğinde yer alan 5 bölmede üretilen 4 değişik orman ürününün, orman içindeki 4 rampadan 2 ayrı depoya (Kahramanmaraş'ta Tekerek deposu ve Andırın'da Kurucaova deposu) taşınmasında en uygun nakliyat güzergahı araştırılmıştır. Yürürlükteki yönetmeliklere göre, bir işletme şefliğinde üretilen orman

ürünlerinin başka bir işletmenin deposuna taşınması, orada istiflenmesi ve ihale edilmesi işletmeler arasındaki mutabakat çerçevesinde uygulanabilmektedir. Üretimi yapan işletme, üretim maliyetlerini depo sahibi işletmeye hesabı cari yapar ve satışı yapan depo sahibi işletme de üretimi yapan işletmeye satış sonuçlarını hesabı cari yaparak karşılıklı mutabakatı gerçekleştirir. Bu çalışmanın amaçlarından biride böyle bir uygulamanın toplam net kara katkısını araştırmak ve işletme şeflerinin nakliyat uygulamalarında farklı depoları dikkate alabileceklerini vurgulamaktır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Modelin formülasyonu

Modelde alternatif nakliyat güzergahlarının belirlenmesinde Sullivan (1974) tarafından geliştirilen transport modeli ile Schnelle (1980) tarafından geliştirilen "Prorate" algoritması birlikte kullanılmıştır. Algoritma ilk olarak her bir başlangıç düğüm noktası ile depo satış noktası arasındaki güzergahları belirlemektedir. Bu güzergahlarda sadece değişken maliyetler dikkate alınacağı gibi sabit maliyetlerde dahil edilebilir. Sabit maliyetin dahil edilebilmesi için, sabit maliyet değeri link (orman yolu seksiyonu) üzerinde taşınan orman ürününün hacmine bölünerek eşdeğer değişken maliyete dönüştürülür:

$$EDM_i = DM_i + \frac{SM_i}{\sum H_i} \quad (1)$$

EDM_i : i linki için eşdeğer değişken maliyet (YTL/m³)
 DM_i : i linki için değişken maliyet (YTL/m³)
 SM_i : i linki için sabit maliyet (YTL)
 H_i : i linki üzerinde taşınan orman ürününün hacmi (m³)

Daha sonra, alternatif güzergahlar arasında toplam değişken ve sabit maliyetleri en aza indiren güzergahın bulunması için Simulated Annealing (Kirkpatrick ve ark., 1983) ve Great Deluge (Dueck, 1993) gibi "heuristic" teknikler kullanılmaktadır. Algoritmada kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min} \sum_i (DC_i \sum H_i + ESM_i X_i) \quad (2)$$

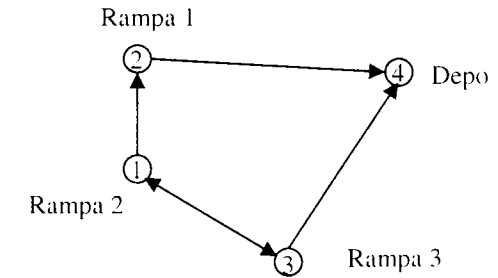
Bu fonksiyonda X_i , değeri 0 veya 1 olan ikili değişkendir. Eğer i linki kullanılırsa 1, kullanılmazsa 0 değerini almaktadır.

2.2. Modelin yapısal özellikleri

Ağ modelinin etkin bir şekilde kullanılabilmesinde en önemli faktör, nakliyat ağının modelde doğru olarak temsil edilmesidir. Ağ oluşturulduktan sonra, "heuristic" teknikler kullanılarak nakliyat planlaması problemi çözülebilir. Modelin kullanıldığı problemlerde alternatif bölmeden çıkarma teknikleri ve satış depoları, çok sayıda orman ürünleri ve zaman periyotları, alternatif güzergahlar ve yol standartları, en az maliyet ve en yüksek net kar gibi kriterler dikkate alınmaktadır. Bunu gerçekleştirmek için ağ modelinin aşağıdaki yapısal özelliklere göre tasarlanması gerekmektedir.

2.2.1. Yeni linkler

Yol ağına eklenecek yeni linkler başlangıç düğüm noktasına, bitiş düğüm noktalarına, nakliyat maliyetine ve link yapım maliyetine göre tanımlanmaktadır. Nakliyat maliyeti kamyonun yüklü gidiş ve boş dönüş maliyetini ifade etmektedir. Buna göre, boş kamyonun takip edeceği güzergahın yüklü olarak takip ettiği güzergahla aynı olacağı varsayılmaktadır. Yüklü kamyonun link üzerinde her iki yönde hareket etmesi durumunda, bu linkin ağda iki ayrı link olarak gösterilmesi gerekir. Şekil 1 üç rampa ve bir satış deposunun yer aldığı örnek bir yol ağını göstermektedir. Şekilde yer alan ok işaretleri link üzerinde orman ürünlerinin nakliyat yönünü göstermektedir. Buna göre, 1 ve 3 numaralı düğüm noktaları arasında iki yönlü taşıma yapılmaktadır.



Şekil 1. Rampalar ve satış deposu arasında yer alan alternatif güzergahlar.
 Figure 1. Alternative routes located between landings and mills.

2.2.2. Mevcut linkler

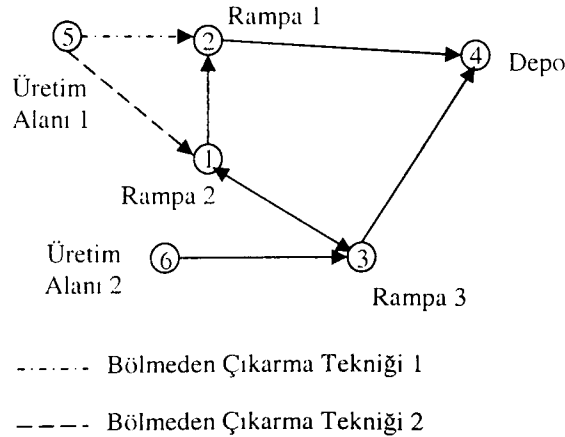
Mevcut linkler yol ağı üzerinde yeni linklerle aynı şekilde yapılandırılmaktadır. Ancak, mevcut linklerde sabit maliyet olarak belirtilen link yapım maliyeti zorunlu bir değişken değildir. Link yapımı gerekmeyen durumlarda, sabit maliyet "0" değerini almaktadır. Ağ modelinde yeni ve mevcut linklere ait değişken ve sabit maliyet değerleri Network 2001 yazılında, "Link Editor" tablosuna işlenmektedir.

2. 2. 3. Link bakımı

Yol güzergahı üzerindeki herhangi bir link bakım gerektiriyorsa, bakım maliyeti değişken veya sabit maliyet olarak belirtilebilir. Yol kaplamasında gerçekleştirilecek bakım maliyetleri genellikle yol üzerinde nakledilen orman ürünlerinin miktarına bağlı olduğundan değişken maliyetler olarak kabul edilebilirler. Buna karşılık, hendeklerin ve büzlerin temizlenmesi gibi bakım maliyetleri sabit maliyet olarak belirtilebilir.

2. 2. 4. Bölmeden çıkarma teknikleri

Bölmeden çıkarma tekniklerini ağ modelinde temsil eden linkler, başlangıç düğüm noktası olan üretim alanı ile bitiş düğüm noktası olan rampa arasında yer alan tek yönlü linklerdir. Ağ modelinin devamında, rampalar bir veya daha çok link için başlangıç düğüm noktası olabilir (Şekil 2). Link üzerindeki toplam değişken maliyeti oluşturan ormancılık çalışmaları; kesme, boylama, tali nakliyat ve yükleme gibi üretilen orman ürünlerinin miktarına bağlı olan çalışmalardır. Sabit maliyeti ise üretim sistemini oluşturan araç ve gereçlerin üretim alanına taşınması ve sistemin kurulması gibi çalışmalar oluşturmaktadır. Bu yayının uygulama bölümünde, bölmeden çıkarma çalışmaları ve yükleme işlerinin maliyetleri dikkate alınmamıştır.

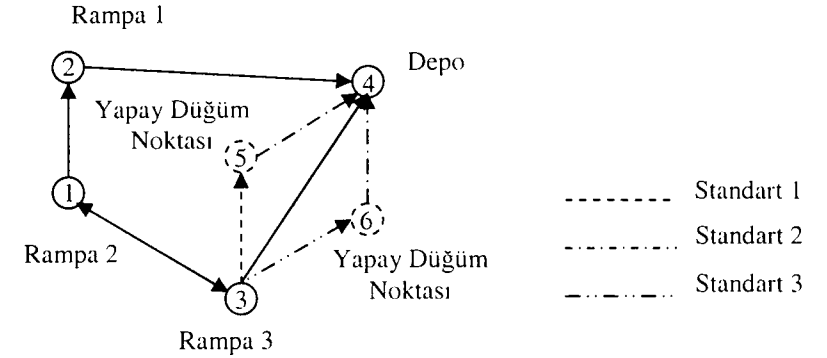


Şekil 2. Orman ürünlerinin üretim alanlarını içeren ağ yapısı.
Figure 2. A network structure containing harvesting units of forest products.

2. 2. 5. Yol standartları

Değişik yol standartları arasında en uygun seçimi yapabilmek için değişken maliyetlerle sabit maliyetler arasında bir değerlendirme yapılmalıdır. Zira, yol

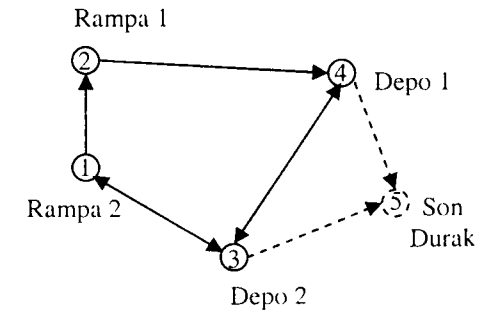
standardını yükseltmek değişken maliyetlerden olan nakliyat maliyetini azaltırken, sabit maliyetlerden olan link yapım maliyetini arttırmaktadır. Her bir yol standardı, ağ modelinde ayrı birer link olarak dikkate alınmaktadır. Aynı başlangıç ve bitiş düğüm noktasına sahip olan bu linklere yapay (dummy) linkler denir (Şekil 3). Yapay linklerde kullanılan düğüm noktalarına da yapay düğüm noktaları denmektedir.



Şekil 3. Alternatif yol standartlarının yapay link ve düğüm noktaları ile temsili.
Figure 3. Representation of alternative road standards with dummy links and nodes

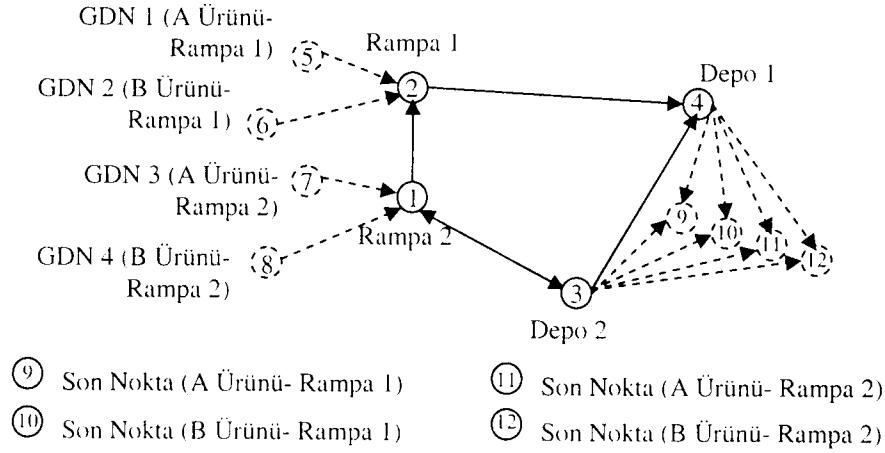
2. 2. 6. Satış depoları ve orman ürünleri

Üretim alanlarından ağ sistemine giriş yapan orman ürünleri birden fazla satış deposuna yönlendirilebilir. Sistemde yer alan satış depoları "Son Durak" olarak işlev göreceği yeni bir yapay düğüm noktasına tek yönlü yapay linklerle bağlanırlar (Şekil 4). Bütün ürünler için en uygun güzergah belirlendikten sonra ürünlerin gerçek satış deposu son durak noktasından bir önceki düğüm noktasına dönerek belirlenebilir.



Şekil 4. İki ayrı satış deposu ve bir son durak düğüm noktası içeren ağ modeli.
Figure 4. A network model with two separate mills and a final destination node.

Üretim alanlarında birden fazla orman ürünü üretilmesi durumunda, her bir ürün için farklı giriş düğüm noktası (GDN) oluşturulur ve ilgili rampaya bağlanır (Şekil 5). Ağ modelinde, üretilen orman ürünü sayısı kadar yapay satış deposu olmalıdır. Network 2001 yazılımında, her bir orman ürününün giriş düğüm noktası, satış deposu ve nakledilen ürün miktarları "Sale Editor" tablosuna işlenir.



Şekil 5. Farklı orman ürünleri için giriş düğüm noktaları ve satış depoları.
 Figure 5. Sales and mills for various forest products.

2. 2. 7. En az maliyet/en yüksek net kar

Ağ modelinde amaç toplam değişken ve sabit maliyet değerleri en az olan güzergahı bulmak olacağı gibi taşınan ürünlerin depo satış fiyatlarının bilinmesi durumunda toplam net karı en yüksek olan güzergahı bulmak da olabilir. Kullanılan algoritmanın minimizasyon problemlerini çözdüğü düşünülürse, modelde maliyetlerin pozitif değerler depo satış fiyatlarının ise negatif değerler olması gerekmektedir. Bu durumda, net karın maksimizasyonu toplam maliyetin minimizasyonu ile sağlanmış olur. Ağ modelinde, orman ürünlerinin depo satış fiyatlarını temsil eden yapay düğüm noktaları oluşturulmalıdır.

2. 2. 8. Zaman periyotları

Ağ modelinin algoritmasında kullanılan "heuristic" teknikler yardımı ile çok sayıda zaman periyotları için en uygun güzergah araştırması yapılabilmektedir. Bu gerçekleştirmek için yeni yapay linkler ekleyerek ağ modelinin yapısında değişikliğe

gitmeye gerek yoktur. Değişik zaman periyotları için elde edilen maliyet veya net karın güncel değerleri tahmini faiz oranları kullanılarak hesaplanır. Bir üretim alanında değişik zaman periyotlarında üretim gerçekleşiyorsa her bir üretim yılı ayrı düğüm noktaları ile temsil edilir.

2. 3. Modelin uygulaması

Modelin uygulamasında, Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü, Başkonuş Orman İşletme Şefliğinde yer alan 5 bölmede 2005 yılında üretilen 4 değişik orman ürünlerinin (tomruk, sanayi odunu, maden direği ve kabuksuz kağıtlık), orman içindeki 4 rampadan Kahramanmaraş'ta yer alan Tekerek deposuna ve/veya Andırın'da yer alan Kurucaova deposuna taşınmasında en uygun nakliyat güzergahı araştırılmıştır. Üretim alanındaki eşit büyüklükteki (15 ha) bölmelerin meşcere tipleri ve üretilen orman ürünlerinin miktarı Tablo 1'de gösterilmiştir. 107, 300 ve 513 numaralı bölmelerde üretilen ürünler tali nakliyattan sonra sırası ile R1, R3 ve R4 numaralı rampalarda istiflenmiştir. 234 ve 238 numaralı bölmelerde üretilen ürünlerin tamamı R2 numaralı rampaya ulaştırılmıştır. Üretilen orman ürünlerinin 2005 yılına ait satış fiyatları Tablo 2'de gösterilmiştir. Buna göre, Kahramanmaraş şehir merkezine çok daha yakın olan Tekerek deposundaki satış fiyatları Kurucaova deposundaki fiyatlardan daha yüksektir.

Tablo 1. Orman ürünlerinin miktarı (m³) ve meşcere tipleri.

Table 1. The amount (m³) and stand type of the forest products.

Bölmeler	Meşcere Tipi	Tomruk	Sanayi	Maden Direği	Kağıtlık
107	Çzd2	695.351	17.038	42.491	108.335
234	Çzcd2	1800.397	40.264	313.398	61.767
238	Çzd2	1017.597	32.694	224.502	34.161
300	Çzcd3	1360.055	27.002	135.869	50.775
513	Çzcd2	675.292	139.155	415.336	26.242

Tablo 2. Orman ürünlerinin 2005 yılı depo satış fiyatları (YTL/ m³).

Table 2. Mill sale prices (YTL/ m³) of the forest products for the year of 2005.

Depolar	Tomruk	Sanayi	Maden D.	Kağıtlık
Tekerek (DT)	143.00	111.00	122.00	85.00
Kurucaova (DK)	135.00	110.00	109.00	82.00

Üretilen orman ürünleri için her bir rampadan önce giriş düğüm noktalarını temsil eden 4'er tane yapay düğüm noktası (T, S, M ve K) belirlenmiştir. Her bir ürün için 2 satış deposundan (DT ve DK) sonra ürünlerin geldiği rampayı gösteren 4'er tane yapay düğüm noktası belirlenmiştir. Bu noktaların her biri ürünlerin satış depolarını (Son Durak) temsil eden yapay düğüm noktalarına (YT, YS, YM ve YK) bağlanmıştır.

Yol ağ sisteminde yer alan linklerin bazı özellikleri (uzunluk, yol tipi, ortalama eğim, yol durumu, ortalama hız, çalışma zamanı ve birim nakliyat maliyeti) Tablo 3'te gösterilmiştir. Ağ sisteminde yer alan R3 ve 3 numaralı düğüm noktalarını bağlayan

yeni link ham yol standardında olup, birim yapım maliyeti (sabit maliyet) 17.000 YTL/km'dir. Nakliyatla kullanılan kamyonların ortalama yük taşıma kapasitesi 15 m³ olarak tahmin edilmiştir. 2005 yılı için kamyonla nakliyatın birim maliyeti Orman Genel Müdürlüğü, İşletme ve Pazarlama Daire Başkanlığı tarafından 22.86 YTL/saat olarak tespit edilmiştir.

Yol uzunlukları bölgenin 1:25.000 ölçekli topografik haritasından yararlanarak hesaplanmıştır. Ortalama yol eğimi ve yol kalitesinin durumu ise arazi ölçümleri ile tespit edilmiştir. Ortalama hız, her bir link için tahmini ortalama yüklü kamyon hızı ile boş kamyon hızının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İyi ve orta kalitedeki ham yol, stabilize yol ve asfalt yollar için ortalama hız değerleri sırası ile 20 ve 25 km/saat, 35 ve 40 km/saat ve 50 ve 60 km/saat'dir. Son olarak, kamyon çalışma zamanı aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$KÇZ_i = \frac{120U_i}{OH_i} (1 + KZ_i) \quad (3)$$

Tablo 3. Ağ modelinde yer alan linklerin özellikleri.

Table 3. The properties of the links located in the network model.

Linkler	Yol Uzunluğu (km)	Yol Tipi	Ortalama Eğim (%)	Yol Durumu	Çalışma Zamanı (Dakika)	Birim Maliyet (YTL/m ³)
R1-1	0.75	Ham Yol	3	orta	5.18	0.13
R2-1	5.45	Stabilize	7	orta	20.55	0.52
R2-2	1.35	Stabilize	5	iyi	4.46	0.11
2-R2	1.35	Stabilize	5	iyi	4.46	0.11
R3-2	0.5	Ham Yol	3	orta	3.45	0.09
R4-5	6.0	Stabilize	5	orta	22.63	0.57
4-6	4.3	Stabilize	7	orta	16.22	0.41
6-4	4.3	Stabilize	7	orta	16.22	0.41
R4-4	1.2	Stabilize	6	orta	4.53	0.11
4-R4	1.2	Stabilize	6	orta	4.53	0.11
1-3	1.3	Stabilize	5	iyi	4.29	0.11
R3-3	0.85	Ham Yol	3	iyi	4.69	0.12
2-6	0.9	Stabilize	5	iyi	2.97	0.08
6-9	6.0	Stabilize	6	iyi	19.80	0.50
9-8	1.3	Asfalt	5	iyi	2.73	0.07
3-8	4.7	Stabilize	6	iyi	15.51	0.39
5-7	4.0	Asfalt	2	orta	10.08	0.26
7-DK	8.0	Asfalt	2	iyi	16.80	0.43
8-DT	24.0	Asfalt	4	iyi	50.40	1.28

$KÇZ_i$: i linki için toplam kamyon çalışma zamanı (dakika)
 U_i : i linkinin uzunluğu (km)
 OH_i : i linki için ortalama kamyon hızı (km/saat)

KZ_i : i linki için tahmini kayıp zaman oranı (%)
 120 : Gidiş-dönüş zamanının dakikaya çevrilmesi için kullanılır.

Ham yol, stabilize yol ve asfalt yol için kayıp zaman oranları sırası ile %15, %10 ve %5 olarak alınmıştır. Toplam çalışma zamanı hesaplandıktan sonra birim nakliyat maliyeti aşağıdaki gibi bulunur:

$$BNM_i = \frac{KBM}{\left(\frac{YK}{KÇZ_i} \right) 60} \quad (4)$$

BNM_i : i linki için birim nakliyat maliyeti (YTL/m³)
 KBM : Kamyonun saatlik birim maliyeti (YTL/saat)
 YK : Kamyonun yük kapasitesi (m³)
 60 : Saatlik birim maliyetin dakikaya çevrilmesi için kullanılır.

3. Bulgular

Örnek problemin çözümü için Network 2001 yazılımında, link bilgileri "Link Editor" tablosuna (Şekil 6) ve satış depolarına ulaşan orman ürünü bilgileri "Sale Editor" tablosuna (Şekil 7) girilerek Şekil 8'de gösterilen yol ağ sistemi geliştirilmiştir. Orman ürünlerinin satış fiyatları iki orman deposunda farklılık gösterdiğinden, maliyeti en az olan güzergah her zaman net karın en yüksek olduğu güzergah olmayabilir. Bu nedenle, çözüm sürecinde iki senaryo takip edilmiştir. Birinci senaryoda maliyeti en aza indiren nakliyat güzergahı araştırılırken, ikinci senaryoda toplam net karın en yüksek olan güzergah araştırılmıştır. Senaryoların kendi içinde, iki ayrı alternatif orman deposu konfigürasyonu test edilmiştir. Birinci alternatifte orman ürünlerinin her iki orman deposuna da ulaştırılmasına izin verilirken, ikinci alternatifte orman ürünleri sadece üretim yapılan işletme şefliğine ait olan Tekerek orman deposuna ulaştırılmaktadır. Böylece, orman işletmesinin farklı orman depolarını kullanmasına izin verilmesi durumunda, orman ürünlerinin nakliyatında yapılabilecek tasarruf hesaplanmıştır. Boşaltma ve istifleme gibi çalışmaların birim maliyetlerinin her iki orman deposunda da aynı olduğu kabul edildiğinden, hesaplamalarda bu maliyetler ihmal edilmiştir.

3. 1. Senaryo I

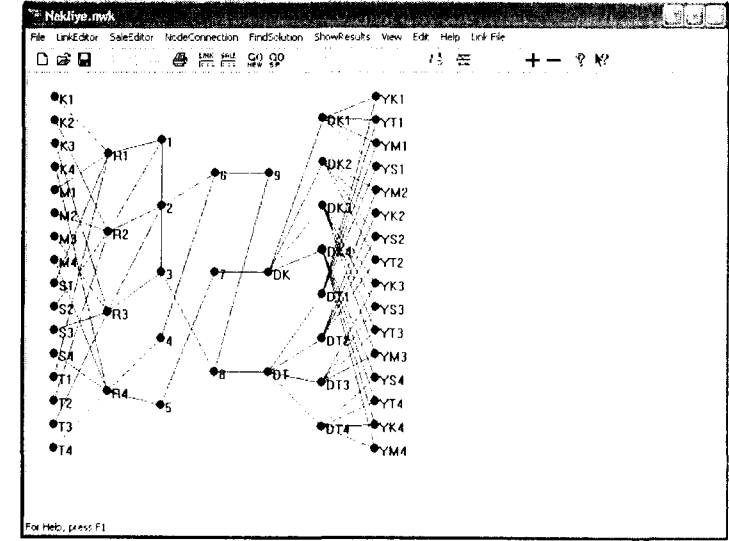
Birinci alternatif için orman ürünlerinin toplam nakliyat maliyetini en aza indiren güzergahlar Tablo 4'de gösterilmiştir. R1 numaralı rampada istiflenen bütün orman ürünleri Tekerek deposuna ulaştırılırken, R2, R3 ve R4 numaralı rampalarda istiflenen bütün orman ürünleri Kurucaova deposuna ulaştırılmıştır. Buna göre, toplam nakliyat maliyeti 13,231.02 YTL olarak hesaplanmıştır. Network 2001 yazılımında her bir ürünün nakliyat güzergahını gösteren grafik özellik vardır.

Line	From node label	To node label	Variable cost (\$/unit/mile)	Fixed cost (\$/mile)	Index
1	T1	R1	0.00	0.00	0.00
2	S1	R1	0.00	0.00	0.00
3	M1	R1	0.00	0.00	0.00
4	F1	R1	0.00	0.00	0.00
5	T2	R2	0.00	0.00	0.00
6	S2	R2	0.00	0.00	0.00
7	M2	R2	0.00	0.00	0.00
8	F2	R2	0.00	0.00	0.00
9	T3	R3	0.00	0.00	0.00
10	S3	R3	0.00	0.00	0.00
11	M3	R3	0.00	0.00	0.00
12	F3	R3	0.00	0.00	0.00
13	T4	R4	0.00	0.00	0.00
14	S4	R4	0.00	0.00	0.00
15	M4	R4	0.00	0.00	0.00
16	F4	R4	0.00	0.00	0.00
17	R1	1	0.11	0.00	0.00
18	R2	1	0.34	0.00	0.00
19	R1	2	0.09	0.00	0.00
20	2	R2	0.09	0.00	0.00
21	R3	2	0.06	0.00	0.00
22	R4	2	0.05	0.00	0.00
23	4	1	0.24	0.00	0.00
24	6	4	0.54	0.00	0.00
25	1	2	0.19	0.00	0.00
26	R1	2	0.10	112.000	0.00
27	2	1	0.53	0.00	0.00
28	6	5	0.54	0.00	0.00
29	9	8	0.24	0.00	0.00
30	3	5	0.54	0.00	0.00

Şekil 6. Örnek problem için geliştirilen ağ modeline ait link verileri.
Figure 6. The link data of the network model generated for the sample problem.

Line	Entry node	Destination node	Tons/Year volume (units)	Harvest year
1	T1	YT1	635.35	0
2	S1	YS1	17.04	0
3	M1	YM1	42.48	0
4	F1	YF1	108.34	0
5	T2	YT2	2377.65	0
6	S2	YS2	59.69	0
7	M2	YM2	360.37	0
8	F2	YF2	34.94	5
9	T3	YT3	1800.39	0
10	S3	YS3	40.26	0
11	M3	YM3	313.46	0
12	F3	YF3	61.72	0
13	T4	YT4	675.29	0
14	S4	YS4	139.16	0
15	M4	YM4	415.34	0
16	F4	YF4	26.24	0

Şekil 7. Ağ modelinde satış depolarına ulaşan orman ürünü verileri.
Figure 7. The data of forest products reaching the mills in the network model.



Şekil 8. Örnek problem için geliştirilen nakliyat güzergahları.
Figure 8. Transport routes generated for the sample problem.

Tablo 4. Senaryo I'de birinci alternatifte, her bir orman ürünü için nakliyat maliyetini en aza indiren güzergahlar.
Table 4. The routes minimizing the transportation cost for each forest product in the first alternative in Scenario I.

Giriş Düğüm Noktaları	En uygun Güzergahlar
T1	T1-R1-1-3-8-DT-DT1-YT1
T2	T2-R2-2-6-4-R4-5-7-DK-DK2-YT2
T3	T3-R3-2-6-4-R4-5-7-DK-DK3-YT3
T4	T4-R4-5-7-DK-DK4-YT4
S1	S1-R1-1-3-8-DT-DT1-YS1
S2	S2-R2-2-6-4-R4-5-7-DK-DK2-YS2
S3	S3-R3-2-6-4-R4-5-7-DK-DK3-YS3
S4	S4-R4-5-7-DK-DK4-YS4
M1	M1-R1-1-3-8-DT-DT1-YM1
M2	M2-R2-2-6-4-R4-5-7-DK-DK2-YM2
M3	M3-R3-2-6-4-R4-5-7-DK-DK3-YM3
M4	M4-R4-5-7-DK-DK4-YM4
K1	K1-R1-1-3-8-DT-DT1-YK1
K2	K2-R2-2-6-4-R4-5-7-DK-DK2-YK2
K3	K3-R3-2-6-4-R4-5-7-DK-DK3-YK3

K4 K4-R4-5-7-DK-DK4-YK4

İkinci alternatif için orman ürünlerinin nakliyat maliyetini en aza indiren güzergahlar Tablo 5'te gösterilmiştir. Bu alternatifte Kurucaova deposuna nakliyata izin verilmediğinden, istiflenen bütün ürünler Tekerek deposuna ulaştırılmıştır. Toplam nakliyat maliyeti 14.982.16 YTL olarak bulunmuştur.

Tablo 5. Senaryo I'de ikinci alternatifte, her bir orman ürünü için nakliyat maliyetini en aza indiren güzergahlar.

Table 5. The routes minimizing the transportation cost for each forest product in the second alternative in Scenario I.

Giriş Düğüm Noktaları	En uygun Güzergahlar
T1	T1-R1-1-3-8-DT-DT1-YT1
T2	T2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YT2
T3	T3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YT3
T4	T4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YT4
S1	S1-R1-1-3-8-DT-DT1-YS1
S2	S2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YS2
S3	S3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YS3
S4	S4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YS4
M1	M1-R1-1-3-8-DT-DT1-YM1
M2	M2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YM2
M3	M3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YM3
M4	M4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YM4
K1	K1-R1-1-3-8-DT-DT1-YK1
K2	K2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YK2
K3	K3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YK3
K4	K4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YK4

Senaryo I'de, her iki satış deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam nakliyat maliyetinde %11.69 oranında tasarruf yapılmıştır. Acar (1998), Artvin Orman İşletme Müdürlüğü'nde orman yolları üzerinde nakliyatın doğrusal programlama tabanlı transport modeli ile planlanması durumunda %18 oranında tasarruf yapılabileceği belirtmiştir.

3. 2. Senaryo II

Tablo 6'da birinci alternatif için orman ürünlerinin nakliyatında net karı eniyileyen güzergahlar görülmektedir. Bu alternatifte Kurucaova deposuna nakliyatın izin verilmesine rağmen, sadece R4 numaralı rampada istiflenen sanayi odunu ürünleri Kurucaova deposuna ulaştırılmıştır. Buna karşılık, diğer orman ürünleri Tekerek deposuna ulaştırılmıştır. Bunun nedeni, tomruk, maden direği ve kabuksuz kağıtlık

orman ürünlerinin Tekerek deposundaki satış fiyatlarının Kurucaova deposundaki satış fiyatlarından sırası ile 8.0, 13.0 ve 3.0 YTL yüksek olmasıdır. Sanayi odununun satış fiyatı ise sadece 1YTL daha yüksektir. Buna göre, toplam net kar 968.891.93 YTL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Senaryo II'de birinci alternatifte, her bir orman ürünü için nakliyat maliyetini en aza indiren güzergahlar.

Table 6. The routes minimizing the transportation cost for each forest product in the first alternative in Scenario II.

Giriş Düğüm Noktaları	En uygun Güzergahlar
T1	T1-R1-1-3-8-DT-DT1-YT1
T2	T2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YT2
T3	T3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YT3
T4	T4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YT4
S1	S1-R1-1-3-8-DT-DT1-YS1
S2	S2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YS2
S3	S3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YS3
S4	S4-R4-5-7-DK-DK4-YS4
M1	M1-R1-1-3-8-DT-DT1-YM1
M2	M2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YM2
M3	M3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YM3
M4	M4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YM4
K1	K1-R1-1-3-8-DT-DT1-YK1
K2	K2-R2-2-6-9-8-DT-DT2-YK2
K3	K3-R3-2-6-9-8-DT-DT3-YK3
K4	K4-R4-4-6-9-8-DT-DT4-YK4

Kurucaova deposuna nakliyatın izin verilmediği ikinci alternatifte oluşan güzergahlar ve net karlar, R4 numaralı rampada istiflenen sanayi odunu hariç, birinci alternatiftekilerle paralellik göstermiştir. Buna göre, toplam net kar 968.880.28 YTL olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, her iki satış deposunun kullanımına izin verilmesi durumunda toplam net karda 11.65 YTL gibi sembolik bir artış sağlanmıştır. Bunun nedeni Tekerek deposundaki satış fiyatlarının yüksek olması nedeni ile iki alternatifte de Tekerek deposunun tercih edilmesidir. Toplam net kardaki küçük farkın nedeni ise 4 numaralı rampada istiflenen sanayi odunu ürünlerinin birinci alternatifte Kurucaova deposuna ulaştırılmasıdır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sunulan örnekten elde edilen sonuçlar genelleştirilemez, ancak, nakliyat güzergahının planlanmasında etkili olan faktörlerin duyarlılığının anlaşılması

açısından bu sonuçların bilgilendirici olduğu görünmektedir. Buna göre, yol ağında yer alan linklere ait nakliyat birim maliyeti kamyonun çalışma zamanına, saatlik birim maliyetine ve yük kapasitesine bağlıdır. Çalışma zamanını etkileyen ana faktör olan araç hızı yolun özelliklerine (eğim, uzunluk, yol tipi ve durumu) göre değişmektedir. Yol özellikleri iyileştiği oranda araç hızı artacak ve çalışma zamanı azalacaktır. Nakliyatla saatlik birim maliyet (kamyon, bir şoför ve bir yardımcısı dikkate alınarak) Orman Bölge Müdürlüklerinden alınan temel verilerden yararlanılarak Orman Genel Müdürlüğü tarafından tespit edilir ve İşletme Şefliklerine bildirilir. Birim maliyeti etkileyen en önemli faktörler sırası ile yakıt giderleri, şoför ve yardımcı giderleri, lastik giderleri ve bakım giderleridir. Nakliyatla kullanılan kamyonların ortalama yük kapasiteleri iğne yapraklı ve yapraklı ağaç tomrukları için sırası ile 15-20 m³ ve 10-14 m³ olarak kabul edilmiştir (Acar, 1998). Formül 4'de görüldüğü gibi, yük kapasitesi yüksek kamyonların kullanılması linklere ait birim nakliyat maliyetini azaltacaktır.

Orman ürünlerinin üretiminde toplam maliyetin önemli bir kısmını oluşturan kamyonla nakliyatının etkin bir şekilde planlanması zorunludur. Çok sayıda alternatif güzergahın değerlendirilmesinde ve en uygun (en az maliyet/en yüksek net kar) alternatifin sistemli bir şekilde belirlenmesinde ağ modeli yöntemi kullanılmaktadır.

Orman ürünlerinin nakliyatının planlanmasında, yol yoğunluğunun ve yol standartlarının yüksek olduğu ormanlarda ağ modeli daha etkin bir biçimde kullanılabilir. Türkiye'de orman yollarının ortalama yoğunluğu ise oldukça düşüktür (8-9m/ha). Orman kaynaklarının etkin olarak yönetilebilmesi için orman yollarının yoğunluğunun en az 20m/ha olması gerekmektedir (Acar ve ark., 2000). Ancak bunun gerçekleşmesi sonucu alternatif güzergahların etüt edilmesi söz konusu olabilir. Ayrıca, satış depolarının daha yakın mesafelerde kurulması da güzergah alternatiflerini arttıracak ve nakliyat maliyetlerini azaltacaktır.

Orman ürünleri üretiminin yoğun olarak devam ettiği bölgelerde toplam net karı eniyileyen nakliyat güzergahlarının ağ modeli ile tespit edilmesi önemli oranda tasarruf yapılmasını sağlayacaktır. Bu bölgelerde yeni orman yollarının planlanmasında, toplam yol yapım maliyeti ile gelecekteki bakım ve nakliyat maliyeleri ağ modeli kullanılarak değerlendirilebilir ve en uygun güzergahlar ve yol standartları seçilebilir. Ayrıca, pazar şartlarının ve taleplerinin uygun olması halinde, dikili satış ile depodan satış uygulamalarının nakliyat maliyetleri ve/veya toplam net karları ağ modeli yöntemi kullanılarak karşılaştırılarak en ekonomik yöntem belirlenebilir.

Network Model Approach in Transportation Planning of Forest Products

Abdullah E. Akay^{1*} and Orhan Erdaş¹

¹ Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, 46100, Kahramanmaraş, Turkey

* Tel: 344 223 7666/453 Fax: 344 221 7244, e-mail: akay@ksu.edu.tr

Abstract

Forest production planning is a quite complex problem which requires to plan and implement harvesting, logging, and transportation activities with efficiency and harmony. Among these activities, the cost of transportation can be a high proportion in the total cost of producing timber. Therefore, it is very important to develop an optimum transportation plan with minimum cost or maximum net profit. The main purpose of this study was to introduce the methodology behind the network analysis method used in forest transportation planning and to present NETWORK 2001 model and its solution capability in a sample application.

Key words: Transporting forest products, network model, Network 2001

1. Introduction

The main factors that affect transporting logs from landings to warehouses include machine rate, vehicle speed, load capacity, road gradient and length, road type, and road condition. To develop an optimum plan, the effects of these factors on total cost should be well known by the transportation planners.

Traditional transportation planning methods highly depend on the experiences of a planner. They are not capable of searching alternative transportation plans or selecting an optimum plan with minimum cost. Since late 1980's, computer-based methods, integrating improved computer technology and advanced optimization techniques, have been developed to help planners in generating high number of alternative transportation plans with less computational time and cost. Network analysis method has been widely

used to solve transportation problems such as shortest path, maximum flow, and optimum task allocation.

2. Material and Methods

To solve forest transportation problems, several models have been developed by using network analysis method. MINCOST model was developed to determine the path with minimum transportation cost. Then, the upgraded version of this model, NETCOST, was developed to evaluate multiple path alternatives between sales and mills. In 1985, NETWORK model was developed by using a method which was similar to "Prorate" algorithm. This model had some superior features such as categorizing sales by multiple time periods, forest products, and timber volumes and considering fixed costs (construction costs) and amount of flow (timber volume). Then, educational and commercial version of this model, NETWORK II, was developed to be used in forestry applications in North America.

In 2000, NETWORK II model was upgraded to be run in Microsoft Windows environment with improved interface. In the upgraded version, NETWORK 2000, solution capacity was improved by using modern optimization techniques and by processing GIS based network data. Then, NETWORK 2001 model was developed to include additional features such as considering weighted objective function components, solving transportation problems with multiple goals, and minimizing total cost of transportation and construction.

In this study, network analysis method was presented by using Network 2001 model in evaluation of two transportation scenarios. In the first scenario, the optimum route with minimum cost was searched by considering multiple numbers of forest products (lumber, industrial wood, mine pole, and pulpwood), landings (R1, R2, R3, and R4), and warehouses (Tekerek and Kurucaova). Since the selling prices for the forest products were not the same in these two warehouses, the route with maximum net value was searched in the second scenario by considering estimated selling prices. Within both scenarios, two alternative warehouse configurations were tested. In the first alternative, it was allowed to transport forest products to both warehouses, while only Tekerek warehouse was permitted in the second alternative.

3. Results and Discussion

For the first scenario, the results from the first alternative indicated that the forest products from landing R1 were delivered to Tekerek warehouse, whereas the forest products from other landings were delivered to Kurucaova warehouse. In this alternative, the total cost of transportation was computed to be 13,231.02 YTL. Since it was not allowed to consider Kurucaova warehouse in the second alternative, all the forest products from the landings were delivered to Tekerek warehouse with the total

transportation cost of 14,982.16 YTL. Therefore, considering multiple warehouses reduced the total transportation cost by 11.6%.

For the second scenario, the results from the first alternative indicated that only industrial wood from landing R4 was delivered to Kurucaova warehouse, whereas all the other forest products were delivered to Tekerek warehouse. The reason for this result was that selling prices of lumber, mine pole, and pulpwood in Tekerek warehouse were greater than the prices in Kurucaova warehouse. In this alternative, the total net value was computed to be 968,891.93 YTL. In the second alternative, all the forest products from the landings were delivered to Tekerek warehouse with the total net value of 968,880.28 YTL. Therefore, the net value was slightly higher in the first alternative than the net value in the second alternative.

4. Conclusion

The results from this sample application can not be generalized, but they indicate that using network analysis based models (e.g. NETWORK 2001) in developing transportation plan can reduce the total cost. Besides, these models can assist forest transportation planners to investigate the effects of main decision factors (i.e. machine rate, vehicle speed, load capacity, road gradient and length, road type, and road condition) on total cost of delivering timber to the warehouses. Network analysis method can be also used to design new forest roads by estimating construction, maintenance, and transportation costs and by evaluating optimum routes and different road standards.

References

- Acar, H. H., 1998.** Artvin Orman İşletme Müdürlüğünde kamyonla nakliyat giderlerinin transport modeli ile minimize edilmesi. *Journal of Agriculture and Forestry*. 22: 491-497.
- Acar, H. H., U. Gül ve S. Gümüş, 2000.** Bölmeden çıkarma çalışmalarında toplam maliyetin minimizasyonu için doğrusal programlama kullanımı. *Journal of Agriculture and Forestry*. 24: 383-391.
- Acar, H. H. ve H. Eroğlu, 2001.** Orman yolları üzerinde odun hammaddesi nakliyatının planlanması. Kafkas Üniversitesi, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*. 1: 61-66.
- Aykut, T., 1985.** Orman ürünlerinin taşınmasında mekanizasyon ve verimler, Ormancılıkta Mekanizasyon ve Verimliliği I. Ulusal Sempozyumu, Bolu, MPM Yayın No. 339, 130-158.

- Başkent, E. Z., 2004.** Yöneylem Araştırması, Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel yayın No: 218. Fakülte yayın No: 36. KTÜ Matbaası, Trabzon.
- Chung, W. and J. Sessions, 2000.** NETWORK 2000: a program for optimizing large fixed and variable cost transportation systems. *in Proc. of the Eighth Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*. Arthaud, G.J. (ed.), Sept 28-30, Aspen, Colorado, USA.
- Chung, W. and J. Sessions, 2001.** NETWORK 2001 - Transportation planning under multiple objectives. *In: Proceedings, The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium*, December 10-12, Seattle, WA, USA.
- Dueck, G., 1993.** New optimization heuristics: the Great Deluge and Record-to-Record Travel. *J. of Computational Physics*, 104: 86-92.
- Erdaş, O., 1986.** Odun hammaddesi üretimi, bölmeden çıkarma ve taşıma safhalarında sistem seçimi. *KTÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 9(1-2): 91-113.
- Johnson, K. N., T. W. Stuart and S. A. Crim, 1987.** FORPLAN Version 2: Mathematical Programers Guide. USDA Forest Service, 124 pp.
- Kirkpatrick, S., C. Gellat and M. Vecchi., 1983.** Optimization by simulated annealing. *Science*, 220: 671-680.
- Nelson, J., J. D. Brodie and J. Sessions, 1991.** Integrating short-term area-based logging plans with long-term harvest schedules. *Forest Science*, 37 (1): 101-122.
- Schnelle, B., 1980.** MINCOST users instructions. USDA Forest Service Report, Northern Region, Div. of Engineering, Missoula, MT.
- Sessions, J., 1985.** A heuristic algorithm for the solution of the fixed and variable cost transportation problem. *in Proc. of the 1985 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*, Dress and Field (eds.), Society of American Foresters, Dec 9-11, Athens, GA, USA.
- Sessions, J., J. B. Sessions, 1993.** SNAP II/III User's Guide. USDA Forest Service, Portland, OR.
- Sessions, J. and W. Chung and H. R. Heinimann, 2001.** New algorithms for solving large scale harvesting and transportation problems including environmental constraints. *in Proc. of the FAO/ECE/ILO workshop on new trends in wood harvesting with cable systems for sustainable forest management in mountain forests*, June 18-24, Ossiach, Austria.
- USDA Forest Service, 1998.** SPECTRUM: An analytical tool to support ecosystem management. Forest Service Research Reports, No: 234, 42 p.
- Weintraub, A. and S. Dreyfus, 1985.** Modifications and extensions of heuristics for solving resource transportation problems. Coop Agreement Final Report, University of California, Berkeley.