

# 4. UZUN MESAFE MAL NAKLİYE PLANLAMASI VE YÖNETİMİ

A series of horizontal lines in teal and white colors, located at the bottom of the slide, extending from the left edge to the right edge.

# Mal nakliyesi

- Mal nakliyesi, modern tedarik zincirlerinde önemli bir rol oynar.
- Hammaddelerin kaynaklardan tesislere, yarı mamullerin fabrikalar arasında ve bitmiş ürünlerin müşterilere ve perakendecilere taşınması gereklidir.
- Taşıma maliyetleri, bir çok endüstride lojistik maliyetlerin önemli bir kısmını ( $1/3$  ile  $2/3$  arasında) oluşturur.

# Mal nakliyesi

- Aktörler
  - Üreticiler ve aracıları içeren sipariş göndericiler taşıma talebini yaratırlar,
  - Taşıyıcılar, taşıma hizmet talebini tedarik ederler,
  - Hükümetler, demiryolları, limanlar, hava alanları gibi ulaşım altyapıları kurup işletebilirler ve böylece endüstrinin bazı yönlerini düzenleyebilirler

# Uzun mesafe-kısa mesafe taşıma (nakliye) problemleri

- Uzun mesafe mal nakliyesi
  - Mallar, terminaller veya diğer tesisler (depolar, fabrikalar vb.) arasında nispeten uzun mesafelerde taşınırlar,
  - Kamyon, tren, gemi veya bunların bir kombinasyonu ile taşınabilirler.
- Kısa mesafe mal nakliyesi
  - Mallar, aynı alanda yerleşmiş toplama ve dağıtım noktaları (örn: depo veya terminal ve müşteriler) arasında genellikle kamyonlarla taşınır,
  - Kısa süreli (bir iş vardiyasından daha kısa) işlerdir ve araç turları bir işler sırasıyla oluşturulur.

# İlgili maliyetler

- Bir filo işletme maliyeti
- Bir sevkiyatı taşımak için taşıyıcı tarafından ödenen maliyet
- Bir araç kiralamak için ödenen maliyet
- Genel bir taşıyıcı kullanıldığında sevkiyat maliyeti
- Yükleme/boşaltma maliyetleri

# Karar problemleri

- Stratejik
  - Sistemin işletim stratejisinin tanımı,
  - Fiziksel ulaştırma şebekesinin tanımı,
  - Pahalı kaynakların (uçaklar vb.) elde edilmesi
- Taktik
  - Mevcut kaynakların (araçlar, personel vb.) atanması,
  - Talepteki dalgalanmalarla başa çıkmak için ek kapasite satın alınması
- Operasyonel
  - Sipariş değişikliği, ekipman bozulmaları, elverişsiz hava koşulları gibi son dakika olaylarını hesaba katmak için araç ve personel çizelgelerinin ayarlanması

# Filo kompozisyonu

- Talep yıllar içinde değişiyorsa, taşıyıcılar genellikle talebin minimum düzeyini kapsayacak bir filo büyüklüğüne sahip olurlar, talebin yüksek olduğu periyotlarda ise kiralık araçlar kullanırlar.
- Burada, tüm araçların aynı olduğu varsayımı altında, sahip olunan ve kiralanan araçların minimum maliyetli karışımını belirleyen bir yöntem incelenecektir.

# Filo kompozisyonu

## Notasyon:

$n \rightarrow$  1 yıllık zaman diliminin ayrıştırıldığı dönem sayısı

$v \rightarrow$  sahip olunan araç sayısına karşılık gelen karar değişkeni

$v_t (t=1, \dots, n) \rightarrow$  t döneminde gereken araç sayısı

$m \rightarrow$  1 yıl içindeki  $v_t > v$  olan dönem sayısı

$c_F \rightarrow$  sahip olunan araçların dönem başına sabit maliyeti

$c_V \rightarrow$  sahip olunan araçların dönem başına değişken maliyeti

$c_H \rightarrow$  araç kiralamanın dönem başına maliyeti ( $c_F + c_V < c_H$ )

# Filo kompozisyonu

Yıllık taşıma maliyeti, sahip olunan araç sayısının fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$C(v) = nc_F v + c_v \sum_{t=1}^n \min(v_t, v) + c_H \sum_{t: v_t > v} (v_t - v)$$

Yıllık minimum taşıma maliyetini elde etmek için  $C(v)$ 'nin  $v$ 'ye göre türevi alınır ve 0'a eşitlenir.

Sonuç olarak  $C(v)$ ,  $nc_F + c_v m - c_H m = 0$  olduğunda minimaldir.

Optimal filo büyüklüğünün bulunması

$$m = n \frac{c_F}{c_H - c_v} \quad \text{şartının gerçekleşmesini gerektirir.}$$

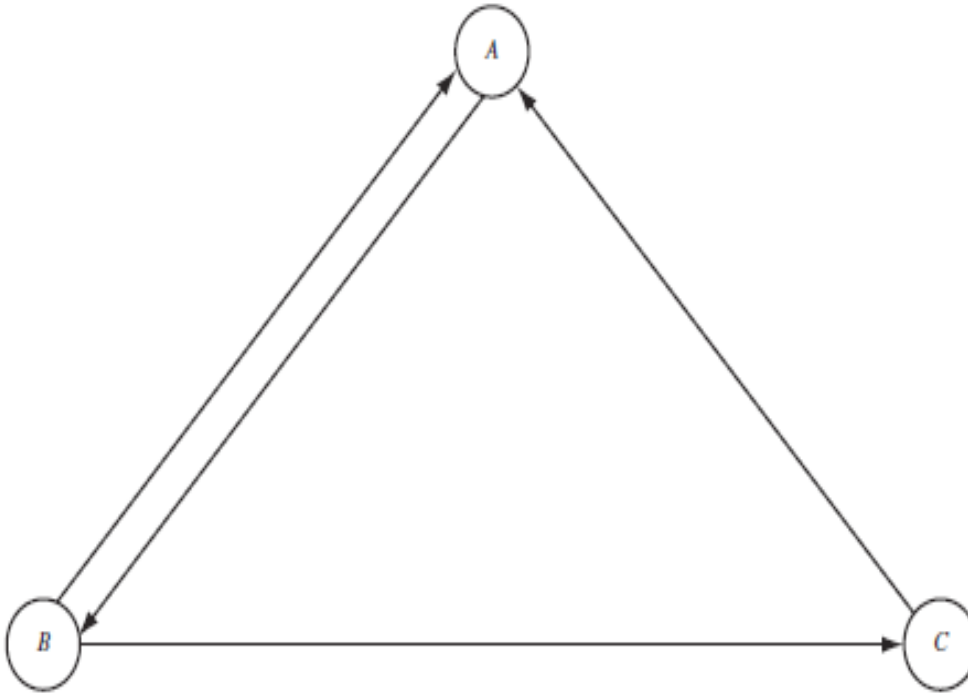
# Yük trafik atama problemleri

- Yük trafik atama problemleri, ürünlerin (yüklerin) bir ulaştırma hizmetleri şebekesi üzerinden, kaynaklarından hedeflerine minimum maliyetli bir rotasının belirlenmesini içerir.
- Matematiksel açıdan trafik atama problemleri şebeke akış problemleri olarak düşünülebilir. Şebeke akış problemleri, özel durumlar olarak, en kısa yol problemi ve ulaştırma problemi gibi bazı dikkate değer şebeke optimizasyon problemlerini içerir.

# Yük trafik atama problemleri- Sınıflandırma

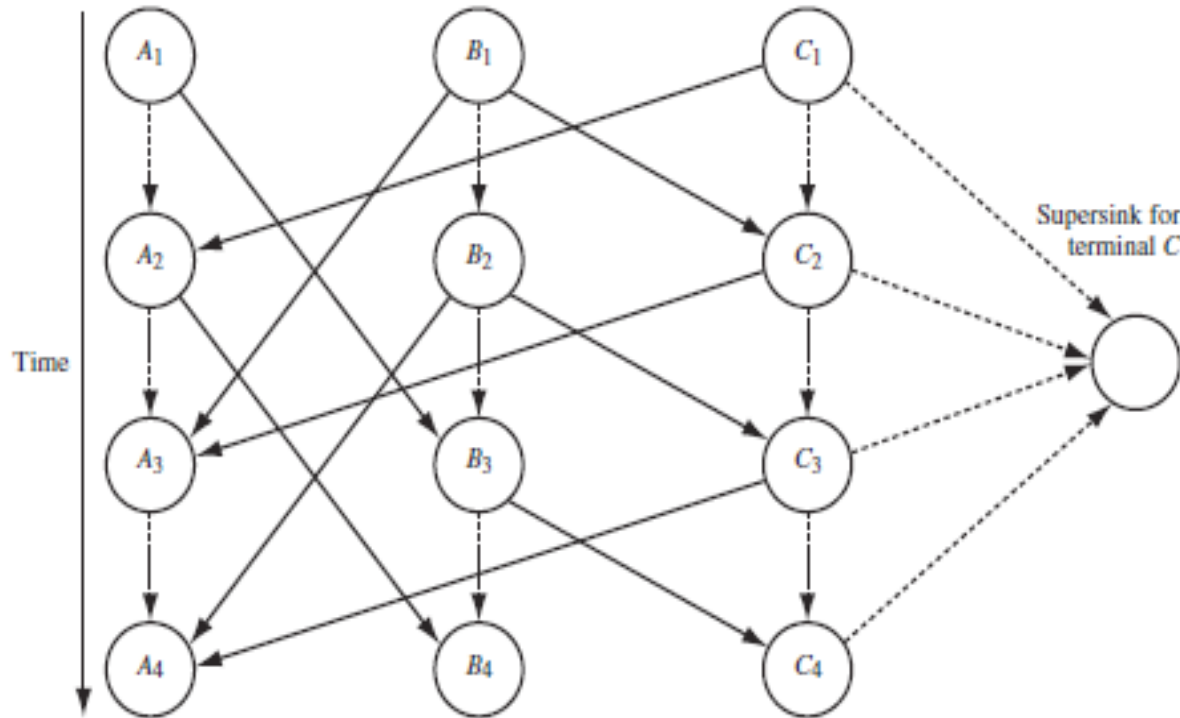
- Statik modeller
  - Verilen kararların zamandan etkilenmediği durumlarda uygundur
  - $G(V, A)$  gibi yönlü (ya da çoklu) bir graf üzerinde formüle edilebilirler
- Dinamik modeller
  - taşıma hizmetleri, belli bir planlama ufku içerisinde bir zaman eklenmiş yönlü bir graf (time-expanded directed graph) üzerinde modellenerek, zaman boyutu dikkate alınır.

# Yük trafik atama problemleri-Statik model temsili



Üç terminalli bir ulaştırma sisteminin statik temsili

# Yük trafik atama problemleri-Dinamik model temsili



Üç terminalli bir ulaştırma sisteminin dinamik temsili

# Minimum maliyetli akış formülasyonu

## Notasyon:

$O(k), k \in K \rightarrow k$  ürünün orijin kümesi

$D(k), k \in K \rightarrow k$  ürünün hedef kümesi

$T(k), k \in K \rightarrow k$  ürünü için aktarma noktaları kümesi

$O_k^i, i \in O(k), k \in K \rightarrow i$  düğümünün  $k$  ürünü arzı

$d_k^i, i \in D(k), k \in K \rightarrow i$  düğümünün  $k$  ürünü talebi

$u_{ij}, (i, j) \in A \rightarrow (i, j)$  yayının kapasitesi

$u_{ij}^k, (i, j) \in A, k \in K \rightarrow k$  ürünün  $(i, j)$  yayında maksimum akışı  
(kapasite)

# Minimum maliyetli akış formülasyonu

Notasyon (devam):

$X_{ij}^k$ ,  $(i, j) \in A$ ,  $k \in K \rightarrow k$  ürünün  $(i, j)$  yayındaki akış miktarı

$C_{ij}^k(X_{ij}^k)$ ,  $(i, j) \in A$ ,  $k \in K \rightarrow X_{ij}^k$  birim  $k$  ürününü  $(i, j)$  yayında taşıma maliyeti

G'nin bağlı yönlü graf olduğu varsayılmaktadır. Genel çok ürünli minimum maliyetli akış (multicommodity minimum cost flow (MMCF)) problemi aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

# Minimum maliyetli akış formülasyonu

$$\text{Minimize } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k (X_{ij}^k) \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{\{j \in V: (i,j) \in A\}} X_{ij}^k - \sum_{\{j \in V: (j,i) \in A\}} X_{ji}^k = \begin{cases} O_i^k, & \text{if } i \in O(k) \\ -d_i^k, & \text{if } i \in D(k) \\ 0, & \text{if } i \in T(k) \end{cases} \quad i \in V, k \in K \quad (2)$$

$$X_{ij}^k \leq u_{ij}^k, \quad (i,j) \in A, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} X_{ij}^k \leq u_{ij}, \quad (i,j) \in A \quad (4)$$

$$X_{ij}^k \geq 0, \quad (i,j) \in A \quad (5)$$

# Minimum maliyetli akış formülasyonu

$O_i^k, k \in K, i \in O(k)$  ve  $d_i^k, k \in K, i \in D(k)$  aşağıdaki şartları sağlar.

$$\sum_{i \in O(k)} O_i^k = \sum_{i \in D(k)} d_i^k, \quad k \in K$$

Aksi takdirde problem uygun çözüme ulaşmaz.

# Doğrusal tek ürünli minimum maliyetli akış problemi (Linear single-commodity minimum cost flow problem)

$$\text{Minimize } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij} \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_{j \in V: (i,j) \in A} X_{ij} - \sum_{j \in V: (j,i) \in A} X_{ji} = \begin{cases} 0, & \text{if } i \in O \\ -d_i, & \text{if } i \in D \\ 0, & \text{if } i \in T \end{cases} \quad i \in V \quad (6)$$

$$X_{ij} \leq u_{ij} \quad (i,j) \in A \quad (7)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (i,j) \in A \quad (8)$$

# Örnek

Boscheim elektronik ürünler üreten bir Alman firmasıdır. Ürettiği VCR-12 video kaydedici özel olarak İngiliz pazarı için tasarlanmıştır. VCR-12, Rotterdam yakınlarındaki bir tesiste montajlanmakta daha sonra Bristol ve Middlesborough da kurulmuş iki depoda stoklanmakta ve oradan perakendeci mağazalara gönderilmektedir. İngiltere pazarı, ağırlık merkezleri, Londra, Birmingham, Leeds ve Edinburgh'da olan 4 satış bölgesine ayrılmıştır. Yıllık talepleri, sırasıyla, 90000, 80000, 50000 ve 70000'dir. Ürün başına Rotterdam'daki montaj tesisinden Bristol ve Middlesborough'daki depolara taşıma maliyeti, sırasıyla, 24.5 € ve 26.0 €'dur.

## Örnek (devam)

Depolardan satış bölgelerine birim taşıma maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Depolar tahmini 15000 üründük kapasiteye sahiptir ve yılda 10 kere tedarik edilmektedir. Yıllık minimum maliyetli dağıtım planını oluşturmak için gerekli modeli kurunuz.

|           | Ürün başına taşıma maliyetleri (€ cinsinden) |          |       |          |
|-----------|----------------------------------------------|----------|-------|----------|
|           | Londra                                       | Birming. | Leeds | Edinburg |
| Bristol   | 9.6                                          | 7.0      | 15.2  | 28.5     |
| Middlesb. | 19.5                                         | 13.3     | 5.0   | 11.3     |

# Sevkiyat birleştirme ve gönderme

Bir üretici ,  $T$  günden oluşan bir planlama aralığında siparişlerini müşterilerine zamanında dağıtmanın yolunu seçmelidir.

Üretici,

- her sevkiyat için en iyi nakliye şekline,
- siparişlerin nasıl birleştirileceğine,
- sahip olunacak araçlar ile yapılacak turların çizelge özelliklerine (başlangıç zamanları, ara duraklar, durakların ziyaret edileceği sıra)

karar vermelidir.

# Sevkiyat birleştirme ve gönderme

## Notasyonlar:

$k \in K \rightarrow$  siparişler

$i_k \in N \rightarrow k$  siparişinin hedefi

$w_k \rightarrow k$  siparişinin ağırlığı ( $w_k \geq 0$ )

$r_k \rightarrow k$  siparişinin dağıtım için hazır olduğu zaman (release time)

$d_k \rightarrow k$  siparişinin son teslim tarihi (deadline)

$r \in R \rightarrow$  rotalar kümesi

$S_r \rightarrow r$  rotasının durakları kümesi (verilen sırada ziyaret edilen)

$f_r \rightarrow r$  rotasının sabit maliyeti

# Sevkiyat birleştirme ve gönderme

## Notasyonlar:

$q_r \rightarrow r$  rotasında çalışan aracın taşıyabileceği maksimum ağırlık

$\tau_{kr}, k \in K, r \in R \rightarrow k$  siparişini  $r$  rotasında taşımak ve teslim etmek için gerekli seyahat günü sayısı

$g_k \rightarrow k$  siparişini hedefine taşımanın ortak taşıma maliyetleri

$\tau_k' \rightarrow k$  siparişini ortak taşımayla hedefine ulaştırma süresi

# Sevkiyat birleştirme ve gönderme

Karar değişkenleri:

$$X_{krt}, k \in K, r \in R, t = 1, \dots, T \rightarrow \begin{cases} 1, & \text{eğer sipariş } k, t \text{ gününde } r \text{ rotasına atanmışsa,} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$y_{rt}, r \in R, t = 1, \dots, T \rightarrow \begin{cases} 1, & \text{eğer } r \text{ rotası } t \text{ gününde çalışıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$V_k \rightarrow \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ siparişi ortak bir taşıyıcı tarafından taşınıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde (bu değişken sadece } r_k + \tau'_k \leq d_k \text{ ise tanımlanır)} \end{cases}$$

# Sevkiyat birleştirme ve gönderme

$$\text{Minimize } \sum_{r \in R} \sum_{t=1}^T f_r y_{rt} + \sum_{k \in K} g_k V_k \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k: r_k \leq t \leq d_k - \tau_{kr}, i_k \in S_r} W_k \cdot X_{krt} \leq q_r y_{rt} \quad r \in R, t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{r: i_k \in S_r} \sum_{t: r_k \leq t \leq d_k - \tau_{kr}} X_{krt} + V_k = 1, \quad k \in K \quad (3)$$

$$X_{krt} \in \{0,1\}, \quad k \in K, r \in R, t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$y_{rt} \in \{0,1\}, \quad r \in R, t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$V_k \in \{0,1\}, \quad k \in K \quad (6)$$

# Dinamik Sürücü Atama Problemi

- Dinamik sürücü atama problemi (Dynamic Driver Assignment Problem-DDAP), tam yüklü kamyon taşımada (TL trucking) tam yüklü turların sürücülere sürekli bir şekilde atanmasıyla ortaya çıkar.
- Tam yüklü kamyon taşımada bir tur bir kaç gün sürebilir (Avrupa ve Kuzey Amerika'da 4 günlük tur süreleri normaldir) ve müşteri talepleri rassal olarak gelebilir.
- Sonuç olarak her sürücü bir kerede tek bir tura atanır.

# Dinamik Sürücü Atama Problemi

- ⇒  $D=\{1, \dots, n\}$  bir görev ataması bekleyen sürücüler kümesi
- ⇒  $L=\{1, \dots, n\}$  gerçekleştirilecek tam yüklü turlar kümesi olsun.
- ⇒ Sürücü sayısı tur sayısını geçerse,  $L$ 'ye kukla yük (0), turların sayısı sürücü sayısını geçerse  $D$ 'ye kukla sürücü (0) eklenir.
- ⇒ DDAP, özel tek ürünli kapasitesiz minimum maliyetli akış problemi (klasik ulaştırma problemi) olarak formüle edilebilir.

# Dinamik Sürücü Atama Problemi

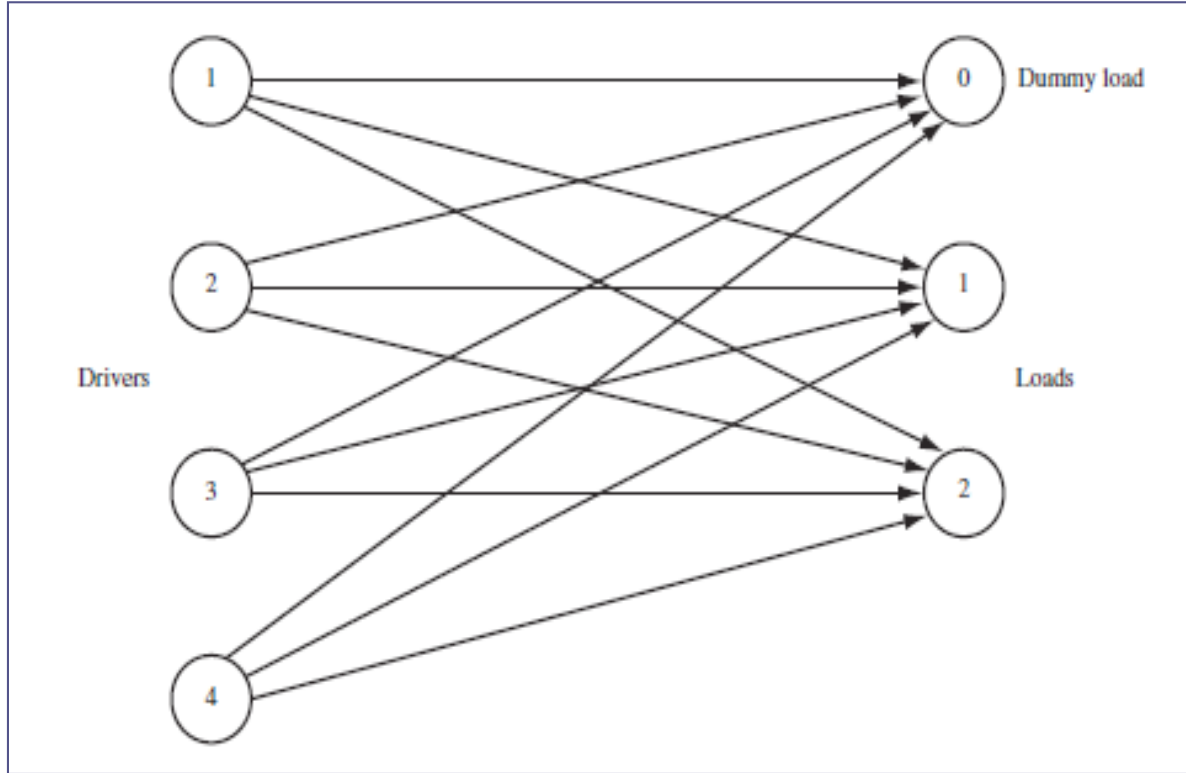
## Parametreler:

$C_{ij}$ ,  $i \in D, j \in L \rightarrow i$  sürücüsünü  $j$  yüküne atama maliyeti,  $i$  sürücüsünün mevcut yerinden  $j$  yükünün toplama noktasına boş olarak hareket etme maliyetine eşit yapılır

## Karar değişkeni:

$X_{ij}$ ,  $i \in D, j \in L \rightarrow 1$ , eğer  $i$  sürücüsü  $j$  yüküne atanırsa  
0, aksi takdirde

# Dinamik Sürücü Atama Problemi



Sürücü atama  
şebekesi

Eğer sürücü sayısı yük sayısını geçerse, DDAP aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

# Dinamik Sürücü Atama Problemi

$$\text{Minimize } \sum_{i \in D} \sum_{j \in L} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

*Subject to*

$$\sum_{j \in L} X_{ij} = 1, \quad i \in D \quad (2)$$

$$\sum_{i \in D} X_{ij} = 1, \quad j \in L \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in D, j \in L \quad (4)$$

# Dinamik Sürücü Atama Problemi

- $C_{i0}$ ,  $i \in D$  maliyetleri o'a eşit alınabilir.
- Pratikte, planlama dönemi süresince araç yerleri ve müşteri talepleri ortaya çıktıkça yukarıdaki model tekrar optimize edilir (bu modelin dinamik tarafını açıklar).
- Ayrıca, birkaç haftadan sonra sürücüleri eve almanın maliyetini yansıtmaması için ok maliyetlerine ( $C_{ij}$ ) cezalar ve ödüller eklenebilir.
- $i$  sürücüsü, zaman içinde bir noktada eve gönderilmek isteniyorsa o sürücüyü dağıtım (hedef) noktası evinin olduğu yer olan bir tura atamanın maliyeti azaltılır.

# Dinamik Sürücü Atama Problemi-ÖRNEK

Planet Nakliye Şirketi tam yüklü taşımacılıkta uzmanlaşmış bir amerikan nakliye şirketidir. Geçen 26 Ocakta, şirket her biri 3 gün uzunluğunda olan 4 tam yüklü turu atama problemiyle karşı karşıya kalmıştır. Toplama noktaları Champaign, Danville, Peoria ve Springfield'dedir. O anda 6 sürücü mevcuttur. İlk 4 sürücü Bloomington, Decatur, Mason City ve Pekin'dedir. Son ikisi Springfield'dedir. Sürücü yerleri ve tur toplama noktaları arasındaki uzaklıklar tabloda verilmiştir. Şirketin sürücü atama problemini formüle edin.

# Dinamik Sürücü Atama Problemi-ÖRNEK

|             | Champaign | Danville | Peoria | Springfield |
|-------------|-----------|----------|--------|-------------|
| Bloomington | 51.9      | 84.1     | 42.0   | 67.4        |
| Decatur     | 46.8      | 83.3     | 107.0  | 40.0        |
| Mason City  | 97.0      | 129.1    | 51.2   | 47.5        |
| Pekin       | 95.4      | 127.6    | 13.1   | 69.4        |
| Springfield | 85.5      | 121.9    | 74.3   | 0.0         |