

TRAFİK SAYIMLARI, BÖLGE NÜFUSLARI VE BÖLGELER ARASI UZAKLIKLARI KULLANARAK BAŞLANGIÇ-SON MATRİSİ TAHMİNİ

Melih Naci AĞAOĞLU

İnşaat Programı, Tokat M.Y.O. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, nagaoglu@gop.edu.tr

(Geliş/Received: 18.04.2008 ; Kabul/Accepted: 16.10.2008)

ÖZET

Başlangıç-Son (B-S) matrisi ulaştırma planlaması için çok önemlidir. Bu matris, bölgeler arasındaki yolculuk talebi hakkında bilgi içermektedir. Bu çalışmada, trafik sayımlarını kullanarak Başlangıç-Son (B-S) matrisi tahmini için bir model önerilmektedir. Modelde, trafik sayımları, bölge nüfusları ve bölgeler arası uzaklıklar kullanılarak (B-S) tahmin edilmiştir. Trafik sayımları, bölge nüfusları ve bölgeler arası uzaklıklar elde edilmesi kolay verilerdir. Dolayısıyla, veri toplama işleminin zor olduğu durumlarda bu çalışmada önerilen model faydalı olacaktır. Ayrıca, nüfus ve mesafe verileri bölgeler arası yolculukların ekonomik yönünün tahmine yansıtılması açısından önemlidir. Modelin esası, ilkel matrisin önceden belirli olan link akımlarını verecek şekilde değiştirilmesine dayanmaktadır. Bu işlemde, ilkel matris elemanları bölgeler arası çekim modeli ile orantılı olarak artırılmaktadır. Her bir link için, bu linki kullanan bölge çiftlerinin katkısı belirlenmektedir. Çekim modelinin payında bulunan bölgelerin nüfus değerlerinin çarpımının x 'inci ve paydasında yer alan, bölgeler arası uzaklık değerinin y 'inci kuvveti alınarak modele ilave edilmiştir. Böylece, bölge nüfuslarına ve bölgeler arası mesafeye verilen önem modele yansıtılmış olmaktadır. Buradaki üs değerleri (x,y) isteğe göre belirlenebilecek bir artış değeri ile algoritma içerisinde değiştirilerek, sonuçta bulunan link akım hatası minimum yapılmaya çalışılmıştır. Sonraki iterasyondaki hata, öncekinden büyük olduğu anda algoritma sonlandırılmaktadır. Model için algoritma yazılmış 4 bölge ve 8 linke sahip bir karayolu ağında test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Başlangıç-son matrisi, yolculuk matrisi.

ESTIMATION OF ORIGIN-DESTINATION MATRIX USING TRAFFIC COUNTS, ZONE POPULATIONS AND INTERZONAL DISTANCES

ABSTRACT

Estimation of Origin-Destination (O-D) matrix is very important in transportation planning. This matrix contains information about travel demand between different zones of a region. In this paper, a model is proposed for estimation of (O-D) matrix using traffic counts. In the model, (O-D) matrix is estimated using traffic counts, zone populations and interzonal distances. Traffic counts, zone populations and interzonal distances are data which can be easily obtained. So, offered model is useful for the situations in which data collection process is difficult. Furthermore, the data of population and interzonal distance is important with regard to taking account of the economic aspect of interzonal trips. The fundamental principle of model has been based on modifying the initial matrix that will provide previously determined link counts. In this process, the elements of initial matrix are increased as proportional with interzonal gravity model. It has exponentiated the multiplication of population values of zones at the numerator of gravity model to the x -th power and interzonal distances at the denominator of gravity model to the y -th power. So, importance of zone populations and interzonal distances has been reflected to the model. It has been worked to minimize the link flow error while exponent values (x,y) are changed with augmentation value that will be determined according to desire. When error at posterior iteration is larger than previous iteration, algorithm is terminated. Algorithm has been written and tested a highway network that has four zones and eight links.

Keywords: Origin-destination matrix, trip matrix.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

B-S matrislerinin tahmin edilmesi, ulaştırma planlaması için gerekli olan talep bilgilerinin elde edilmesinde, ulaştırma sistemlerinin kontrol ve yönetiminde büyük öneme sahiptir. Başlangıç-son matrisi tahmin yöntemleri, üç ana grup altında toplanmaktadır. Bunlar:

- Ulaştırma planlaması modelleri yardımıyla (B-S) matrisi tahmini,
- Doğrudan örnekleme yardımıyla (B-S) matrisi tahmini,
- Trafik sayımlarını kullanarak (B-S) matrisi tahmini,

yöntemleridir [1].

Ulaştırma planlaması modelleri yardımıyla (B-S) matrisi tahmini, klasik dört aşamalı ulaştırma planlaması modelindeki, yolculuk yaratımı ve yolculuk dağıtım aşaması ile ilişkilidir. Bu matris, ulaştırma talebinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmakta ve talep matrisi veya (B-S) matrisi olarak adlandırılmaktadır. Ancak, bu yöntem çok doğru sonuçlar vermemekte ve bu nedenle kaba hesaplamalar için uygulanmaktadır [2].

Doğrudan örnekleme yardımıyla (B-S) matrisi tahmin modellerinde, nüfusu temsil etmek üzere, rastgele bir örnek seçilmektedir. Bu örnek üzerinde, doğrudan (B-S) ölçümü yapılmaktadır. Örnek üzerinden elde edilen sonuçlar, istatistiksel yöntemler kullanılarak, bütün nüfusu kapsayacak şekilde genişletilmektedir. Bu yöntem, çok masraflı ve zaman kaybına yola açan bir işlem gerektirmektedir. Ayrıca, örnek seçimi açısından önyargılı sonuçlar doğurabilmektedir [1].

Bu nedenlerden dolayı son 25 yıl içerisinde trafik sayımlarını kullanarak (B-S) matrisi tahmin yöntemi en fazla tercih edilen ve (B-S) matrisi tahmininde sıklıkla kullanılan yöntem olmuştur. Trafik sayım verilerinin düşük maliyetle ulaştırma ağlarındaki linklerden elde edilmesinin mümkün olması bu yöntemin tercih edilmesinin en büyük nedenidir.

Düğüm ve linklerden oluşan, bir yol ağı tarafından birbirlerine bağlanan, N bölgeye bölünmüş bir çalışma alanı için, yolculuk matrisi, N^2 hücreden veya bölge içi yolculuklar dikkate alınmadığı durumda ise, (N^2-N) hücreden oluşur. Trafik sayımlarını kullanarak, bir ulaşım talep modeli tahmini için, en önemli safha, her bir başlangıçtan her bir varışa olan yolculukların, takip ettiği yolların belirlenmesidir.

p_{ij}^a değişkeni, i bölgesinden j bölgesine yapılan yolculukların, a linkini tercih etme olasılığını, yani link ağırlık matrislerini tanımlamak için kullanılır. Böylece, belirli bir a linki için (V_a) akımı, bölgeler arasındaki bütün yolculukların, bu linke olan katkılarının

toplamı olmaktadır. Bu durum, matematik ifade olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir [2].

$$V_a = \sum_{ij} T_{ij} \cdot p_{ij}^a, \quad 0 \leq p_{ij}^a \leq 1 \quad (1)$$

Burada;

T_{ij} = i bölgesinden j bölgesine yapılan yolculuk miktarı

a = Link numarası,

V_a = a linki üzerindeki tahmin edilen akım (ta/sa),

p_{ij}^a = i bölgesinden j bölgesine yapılan yolculukların, a linkini tercih olasılığıdır.

p_{ij}^a matrisi, yolculuk atama teknikleri tarafından belirlenmektedir. Basit olarak “ya hep ya hiç” atamasından, daha karmaşık “denge” atamalarına kadar sınıflandırılabilen, çeşitli atama teknikleri kullanılmaktadır. (1) no’lu denklemden de görüleceği üzere, p_{ij}^a değerleri ve gözlenen trafik hacimlerinin tamamı verildiğinde, yolculuk matrisinin içindeki, T_{ij} değerleri bilinmeyen olarak kalacaktır. Bunların bulunabilmesi için, bilinmeyen sayısı kadar denklem yazılması gereklidir. Bu mümkün değildir. Çünkü, gözlenen trafik sayımları, bilinmeyen T_{ij} ’lerin sayısından çok azdır. Bu nedenle, matris tahmin problemi için, tek çözümün belirlenmesi imkansızdır. Bunun sonucunda da, gerçek yolculuk matrisi elde edilemeyecektir. Bu yüzden, problemi çözmek için, ilave verilere (başlangıç bilgisi) ve/veya yolculuk davranışı hakkında kabullere ihtiyaç vardır [3].

Trafik sayımlarını kullanarak (B-S) matrisi tahmini yöntemleri genel olarak, zamana bağlı olmayan (statik) ve zamana bağlı (dinamik) olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. Ayrıca, tıkanıklık etkisinin olup olmamasına göre belirlenen yolculuk atama tekniklerine göre de sınıflandırılması mümkündür [4].

Trafik sayım verilerini kullanarak (B-S) matrisi tahmin edilmesindeki amaç, tahmin edilen (B-S) matrisi ile ilkel matris ve gözlenen link akımları ile (B-S) matrisinin ağ üzerine atanmasıyla elde edilen link akımları arasındaki sapmaların minimize edilmesidir. Bu sapmaların belirlenmesi için ilk yaklaşım maksimum entropi yaklaşımıdır. Maksimum entropi formülasyonu minimum bilgi prensibinden türetilerek Van Zuylen (1978) tarafından önerilmiştir [5].

Sapmaların belirlenmesinde kullanılan ikinci yaklaşım maksimum olasılık yaklaşımıdır. Yukarıda anlatılan “Entropi Maksimizasyonu” modellerinde ilkel matris, model formülasyonu için gerekli değildir. İlkel matris yerine bütün elemanları aynı olan bir

matris kullanılabilir. Böyle bir matris kullanılarak tahmin edilen (B-S) matrisi gerçek durumu yansıtmada başarısız olmaktadır. (B-S) matrisinin, ağ üzerine atanması sonucunda bulunan link hacimleri ile gözlenen link hacim değerleri birbirine yakın bulunması mümkündür. Fakat buna karşılık ilkel matris içerisindeki her (B-S) çifte aynı oranda değer verildiği ve model bu değerler üzerinde düzenlemeler yaparak (B-S) matrisini tahmin ettiği için bulunan matris ile gerçek değerler arasında büyük sapmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak ve gerçeğe daha yakın bir (B-S) matrisi tahmin etmek amacıyla "Maksimum Olasılık" yöntemi geliştirilmiştir [6,7,8].

Son on yıl içerisinde tahmin modellerinde yaygın olarak kullanılan sapma belirleme ölçüsü, en küçük kareler formülasyonudur. Bu modellerde her bir link gözlemine verilen önemi belirtmek için varyans değeri kullanılmaktadır. Farklı linklerdeki gözlemler arasındaki kovaryans değerleri dikkate alındığında bu model genelleştirilmiş en küçük kareler modeli olarak anılmaktadır [9,10,11].

(B-S) matrisinin tahmin modellerinin sınıflandırılmasında ikinci olarak, atama türü dikkate alınmaktadır. Trafik sayımlarını kullanarak (B-S) matrisi tahminindeki en önemli nokta kullanılan atama tekniğidir. Yani, i bölgesinden j bölgesine olan yolculukların, ulaştırma ağı üzerinde hangi yolu kullanarak gerçekleşeceği. Tıkanıklık etkisinin dikkate alınıp alınmaması durumuna bağlı olarak atama tekniği belirlenmektedir. Atama türleri, orantılı atama ve denge ataması olarak iki grup altında sınıflandırılmaktadır [3].

Orantılı atama durumunda tıkanıklık etkisi dikkate alınmamaktadır. Taşıtların güzergah tercihleri, linkler üzerindeki trafik yükünden bağımsızdır.

Denge ataması durumunda ise, tıkanıklık etkisi hesaba katılmaktadır. Taşıtların güzergah seçimleri linkler üzerindeki trafik yüküne bağlıdır. Dolayısıyla, link tercih olasılıklarının (B-S) matrisi tahmin probleminin içerisinde belirlenmesi gereklidir.

2. TAHMİN MODELİ VE FORMÜLASYONLAR (ESTIMATION MODEL AND FORMULATIONS)

Bir ulaştırma ağında bölgeler arasındaki yolculukların yani (B-S) matrisinin gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi, tahmin probleminin çözümü için gereksinim duyulan verilerin elde edilebilmesine ve ulaştırma ağının karakterine bağlı olarak yapılan kabullere bağlıdır. Bu kabuller çoğu zaman verinin olmayışı ya da yetersizliği sonucunda yapılmaktadır. (B-S) matrisi tahmininde gereksinim duyulan veriler şunlardır.

- İlkel matris
- Link ağırlık matrisleri
- Gözlenen link akımları

İlkel matris, bölgeler arasında bulunmak istenen (B-S) taleplerinin, ilk değerlerini içeren bir matristir. Yapılan yolculukların durumu hakkında bilgi vermesi açısından çok önemlidir. Tahmin problemlerinde ilkel matris olarak, ya daha önceden belirlenmiş bir (B-S) matrisi, ya da bölge içi yolculukların dikkate alınmadığı varsayımıyla, köşegen elemanları "0" diğer elemanları "1" olan bir matris kullanılmaktadır [12].

Link ağırlık matrisleri, Ağ üzerindeki herhangi bir linkin, bu ağı kullanan (B-S) talepleri tarafından, hangi olasılıkla tercih edileceğini gösteren matrislerdir. Bu matrislerin belirlenmesi, atama türüne göre değişmektedir. Orantılı atama durumunda dışardan yani tahmin probleminin dışında, denge ataması durumunda ise tıkanıklık etkisi dikkate alındığından tahmin problemi içerisinde belirlenmektedir.

Gözlenen link akımları ise linkler üzerinde yapılan trafik sayımları sonucunda elde edilmektedir. Bunlar genellikle Y.O.G.T. değerleridir.

Bu çalışmada, ilkel matris olarak köşegen elemanları "0" diğer elemanları "1" olan bir matris kullanılmıştır. İlkel matris bilgisinin bulunmadığı, ya da güvenilir olmadığı durumlarda sıklıkla bu tür bir matris kullanılmaktadır. Tıkanıklık etkisi dikkate alınmamıştır. Bu nedenle orantılı atama kabulü yapılmış ve link ağırlık matrisi dışardan veri olarak tahmin problemine dahil edilmiştir. Bölgeler arası nüfusların ve yine bölgeler arası mesafelerin yer aldığı iki tane matris, (B-S) matrisi tahmininde veri olarak kullanılmaktadır.

Modelde ulaştırma ağındaki düğüm noktaları ile gösterilen bölgeler il merkezleri olarak dikkate alınmaktadır. İlk olarak, her bir linki kullanan il çiftleri belirlenmektedir. Yine her link için ayrı ayrı olmak üzere, çekim modeli uygulanmaktadır. Bu model, Newton'un çekim kanunu esas alınarak (iki kütle arasındaki çekim kuvveti, kütlelerin büyüklüğü ile doğru orantılı fakat arasındaki mesafe ile ters orantılıdır), geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, ulaştırma mühendisliği açısından ele alınırsa, iki bölge arasında oluşacak trafik akımlarının, bölgelerin aktiviteleri ile doğru orantılı buna karşılık, bölgeler arasındaki mesafe ile ters orantılı olacağını göstermektedir. Dolayısıyla, çekim modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$T_{ij} = \frac{\theta P_i P_j}{d_{ij}^2} \quad (2)$$

Burada;

P_i = "i" (başlangıç) bölgesinin nüfusu,

P_j = "j" (son) bölgesinin nüfusu,

d_{ij} = "i" ve "j" bölgeleri arasındaki mesafe,

θ = Orantılılık faktörü,

T_{ij} = “i” başlangıç ve “j” varış noktası arasındaki talep. (ta/sa)

Çekim modeli ilk defa Casey (1955), tarafından kullanılmıştır. Sonradan, bölge nüfusları yerine, bölgelerden üretilen ve bölgeler tarafından çekilen toplam yolculukların modesle dahil edilmesiyle geliştirilmiştir [13].

Çekim modelinin uygulanmasında her link için, linki kullanan il çiftlerinin nüfusları çarpımının x’inci kuvveti alınmakta ve iller arasındaki mesafenin y’inci kuvvetine bölünmektedir. Buradaki “x” ve “y” değerleri nüfusa ve mesafeye verilen önemi yansıtmakta ve isteğe göre belirlenebilecek bir artış değeri ile algoritma içerisinde değiştirilerek, sonuçta bulunan link akım hatası minimum yapılmaya çalışılmaktadır. Elde edilen değerler, linki kullanan il çiftlerinin bu linkteki gözlenen akıma yaptıkları katkıyı yansıtmaktadır. Bu durum, matematiksel olarak (3) no’lu eşitlikte gösterilmektedir.

$$c_a^{k,m} = \frac{(n_k \cdot n_m)^x}{M_{k,m}^y} \quad (3)$$

Burada;

k, m = a linkini kullanan il çiftleri

$c_a^{k,m}$ = a linkini kullanan k ve m illerinin bu linkteki akıma olan katkısı

n = Nüfus matrisi

M = Uzaklık matrisi (km)

x = Bölge nüfuslarının çarpımına verilen önem katsayısı

y = Bölgeler arasındaki uzaklığa verilen önem katsayısı

Sonra, bulunan bütün $c_a^{k,m}$ değerleri her link için ayrı ayrı toplanmaktadır. Böylece her bir link için, bu linki kullanan il çiftlerinin yaptıkları katkılar belirlenmekte ve daha sonra bu toplama bölünmek suretiyle normalize edilmektedir. Bu işlemler, sırasıyla (4) ve (5) no’lu eşitliklerde görülmektedir.

$$mattop_a = \sum_{x,y,k,m} c_a^{k,m} = \sum_{x,y,k,m} \frac{(n_k \cdot n_m)^x}{M_{k,m}^y} \quad (4)$$

$$delta_a^{k,m} = \frac{c_a^{k,m}}{mattop_a} \quad (5)$$

Burada;

$mattop_a$ = a linkini kullanan k ve m illerinin, bu linkteki akıma olan katkılarının toplamı.

$delta_a^{k,m}$ = a linkini kullanan her bir il çiftinin katkısının o linke olan toplam katkıya bölünmesi ile elde edilen normalize değeri.

Bunun sonucunda, bulunan $delta_a^{k,m}$ matrisi, ilkel matristeki artırım miktarını vermiş olmaktadır.

$delta_a^{k,m}$ matrisinin çözüme yakınsama sağlanması açısından, α gibi bir düzenleme katsayısı ile çarpılarak kullanılması gereklidir. Bu katsayı (0-1) arasında değerler almaktadır. Bu değer küçüldükçe, yakınsama için gerekli olan iterasyon sayısı artacaktır. Bunun tersine, büyümesi durumunda ise, iterasyon sayısı azalmasına rağmen, yakınsamanın sağlanamaması ve sonuçlarda dalgalanmanın ortaya çıkması söz konusudur. Bu katsayı seçilirken ulaştırma ağının büyüklüğü dikkate alınmalıdır. Eğer, başlangıç-son matrisi tahmin edilmek istenen ulaştırma ağı, çok fazla bölgeye ve linke sahipse “0”a yakın, küçük bir ulaştırma ağı ise “1”e yakın olarak alınmalıdır.

$$T = T + \alpha \cdot delta_a^{k,m} \quad (6)$$

Burada;

α = Düzenleme katsayısı

T = Başlangıç-Son matrisi

İlkel matrisi $delta_a^{k,m}$ kadar artırma işlemi mutlak hatanın önceki iterasyona göre büyük olduğu duruma kadar devam ettirilmektedir. Bu noktada iterasyon sonlandırılmakta ve minimum hata değerine karşılık gelen (B-S) matrisi, nüfusa verilen önem katsayısı (x) ve bölgeler arası uzaklığa verilen önem katsayısı (y)’ye bağlı olarak elde edilmiş olmaktadır.

$$E_{mutlak} = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N |V_a - V'_a| \quad (7)$$

Burada;

E_{mutlak} = Mutlak hata (ta/sa)

N = Ulaştırma ağındaki link sayısı

V_a = a linki üzerindeki tahmin edilen link akımı (ta/sa)

V'_a = a linki üzerindeki gözlenen link akımı (ta/sa)

3. TAHMİN ALGORİTMASI (ESTIMATION ALGORITHM)

Algoritma, aşağıda gösterildiği gibi 13 adımdan oluşmaktadır. Bölge nüfusları, bölgeler arası uzaklık değerleri, ilkel matris, link ağırlık matrisleri, gözlenen link akım değerleri ve α katsayısı algoritmanın girdilerini oluşturmaktadır. Nüfusa verilen önem

katsayısı (x), mesafeye verilen önem katsayısı (y), tahmin edilen (B-S) matrisi ve tahmin hatası ise algoritmanın sonucunda çıktı olarak elde edilmektedir.

Adım 1. 3 no'lu eşitliğin payındaki nüfusların çarpımının üssü olan x sayısının minimum, maksimum ve artış miktarını giriniz.

Adım 2. 3 no'lu eşitliğin paydasındaki mesafenin üssü olan y sayısının minimum, maksimum ve artış miktarını giriniz.

Adım 3. 6 no'lu eşitlikteki α katsayısını giriniz.

Adım 4. Bölge nüfuslarını ve bölgeler arası mesafe verilerini giriniz.

Adım 5. Ulaştırma ağındaki her link için, link tercih olasılıklarını gösteren link ağırlık matrislerini ve gözlenen link akım değerlerini giriniz.

Adım 6. (B-S) matrisinin ilk hali olan ilkel matrisi ve iterasyon sayısını giriniz.

Adım 7. Birinci iterasyonda ilkel matrisin, daha sonra hesaplanan (B-S) matrisinin ağ üzerine atanmasıyla linklerde oluşacak akımları hesapla.

Adım 8. Hesaplanan akımlarla gözlenen akımlar arasındaki mutlak hatayı hesapla.

Adım 9. Eğer hata önceki iterasyonda daha büyükse iterasyonu durdur.

Adım 10. 3 no'lu eşitlikteki c matrisini ve 4 no'lu eşitlikteki mat_{top}_a değerlerini her link için hesapla.

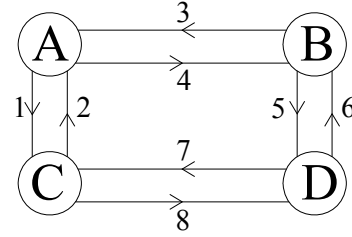
Adım 11. Hesaplanan c değerlerini her link için bulunan mat_{top}_a değerine bölerek normalize et.

Adım 12. Normalize edilmiş değerleri α katsayısı ile çarparak, bir önceki (B-S) matrisine ilave et.

Adım 13. 7 no'lu adıma geri dön.

4. MODELİN BİR KARAYOLU AĞINA UYGULANMASI (APPLICATION OF MODEL FOR A HIGHWAY NETWORK)

Şekil 1'de gösterildiği gibi, (B-S) matrisi belirlenmek istene ağ 4 bölge ve 8 linkten oluşmaktadır. Her bölgenin nüfusları, bölgeler arası uzaklıklar, ilkel matris, link ağırlık matrisleri ve linklerdeki gözlenen akım değerleri dışardan veri olarak modele girilmektedir. Modelin uygulandığı karayolu ağı küçük bir ağ olduğundan, α katsayısı "1" olarak seçilmiştir. İlkel matris olarak, bölge içi yolculuklar hesaba katılmadığı durum için, köşegen elemanları "0" diğer elemanları "1" olan bir matris kullanılmıştır. Link ağırlık matrisleri ve gözlenen link akım değerleri her iki yön için eşit kabul edilerek verilmiştir. Link ağırlık matrisleri, linklerin tercih olasılıklarını göstermektedir. Eğer, iki bölge arasında tercih edilebilecek yalnız bir tane güzergah varsa, bu güzergahı oluşturan linklerin tercih edilme olasılıkları "1" olacaktır. Seçilebilecek birden fazla güzergah olduğunda, araçlar güzergahları farklı oranlarda tercih edeceklerdir. Bu durumda, tercih edilme olasılıkları (0-1) arasında bir değer alacaktır. Şekil 1'de (A-B), (A-C), (B-D) ve (C-D) bölgeleri arasında bir tane, (A-



Şekil 1. 4 bölge 8 linkten oluşan karayolu ağı (highway network consisting of 4 zones and 8 links)

D) ve (B-C) bölgeleri arasında ise iki tane tercih edilebilecek güzergah olduğu varsayılmıştır.

Örneğin, $P_{i,j}^1$ matrisi i bölgesinden j bölgesine giderken 1 no'lu linkin kullanım oranını gösteren matristir. Bu matris incelendiğinde, 1 no'lu linki kullanan (A-C), (A-D) ve (B-C) olmak üzere 3 tane il çifti vardır. Bu nedenle, matristeki diğer elemanlar 1 no'lu linki kullanmadıkları için kullanım oranları "0" olmaktadır. A bölgesinden C bölgesine giderken tercih edilebilecek başka güzergah olmadığından, 1 no'lu linki tercih olasılığı "1" olmaktadır. A bölgesinden D bölgesine ve B bölgesinden C bölgesine yapılan yolculuklarda ise iki tane güzergah tercih edilebileceğinden 1 no'lu linki tercih olasılığı "0.5" olarak kabul edilmiştir.

Modelde girdi olarak kullanılacak, bölge nüfusları, bölgeler arası uzaklık değerlerini veren uzaklık matrisi, link ağırlık matrisleri, ilkel matris ve gözlenen link akım değerleri aşağıda gösterildiği gibi kabul edilmiştir. Algoritmanın birinci adımındaki nüfusların çarpımının üssü olan x sayısının minimum değeri 1, maksimum değeri 10 ve artış miktarı 1, algoritmanın ikinci adımındaki mesafenin üssü olan y sayısının minimum değeri 1, maksimum değeri 10 ve artış miktarı 1 olarak varsayılmıştır.

İlkel matris:

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Nüfuslar:

$$n(A) = 1000; n(B) = 7000; \\ n(C) = 4000; n(D) = 10000;$$

Gözlenen link akımları:

$$V_1' = V_2' = 25 \text{ ta / sa} \\ V_3' = V_4' = 15 \text{ ta / sa} \\ V_5' = V_6' = 20 \text{ ta / sa} \\ V_7' = V_8' = 40 \text{ ta / sa}$$

Uzaklık matrisi:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 50 & 200 \\ 100 & 0 & 150 & 200 \\ 50 & 150 & 0 & 150 \\ 200 & 200 & 150 & 0 \end{bmatrix}$$

Link ağırlık matrisleri:

$$P_{i,j}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{i,j}^8 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

5. SONUÇLAR VE DEęERLENDİRME (CONCLUSIONS AND EVALUATION)

Şekil 1'de gösterilen karayolu ağı için modelin uygulanması sonucunda, mutlak hatanın minimum olduğu x değeri 3, y değeri 8 olarak bulunmuştur. Yani, nüfusa verilen önem katsayısı 3, mesafeye verilen önem katsayısı ise 8 olmaktadır. Eşitlik 6'da verilen minimum mutlak hata değeri, 4,79'dur. Tahmin edilen (B-S) ve bu matrisin ağa atanması sonucunda tahmin edilen link akımları aşağıda gösterilmiştir.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 4,99 & 14,30 & 1,09 \\ 4,99 & 0 & 20,68 & 9,53 \\ 14,30 & 20,68 & 0 & 11,41 \\ 1,09 & 9,53 & 11,41 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V_1 = T_{AC} \cdot P_{AC}^1 + T_{AD} \cdot P_{AD}^1 + T_{BC} \cdot P_{BC}^1 = 25,19 \text{ ta / sa}$$

$$V_2 = T_{CA} \cdot P_{CA}^2 + T_{DA} \cdot P_{DA}^2 + T_{CB} \cdot P_{CB}^2 = 25,19 \text{ ta / sa}$$

$$V_3 = T_{BA} \cdot P_{BA}^3 + T_{BC} \cdot P_{BC}^3 + T_{DA} \cdot P_{DA}^3 = 15,88 \text{ ta / sa}$$

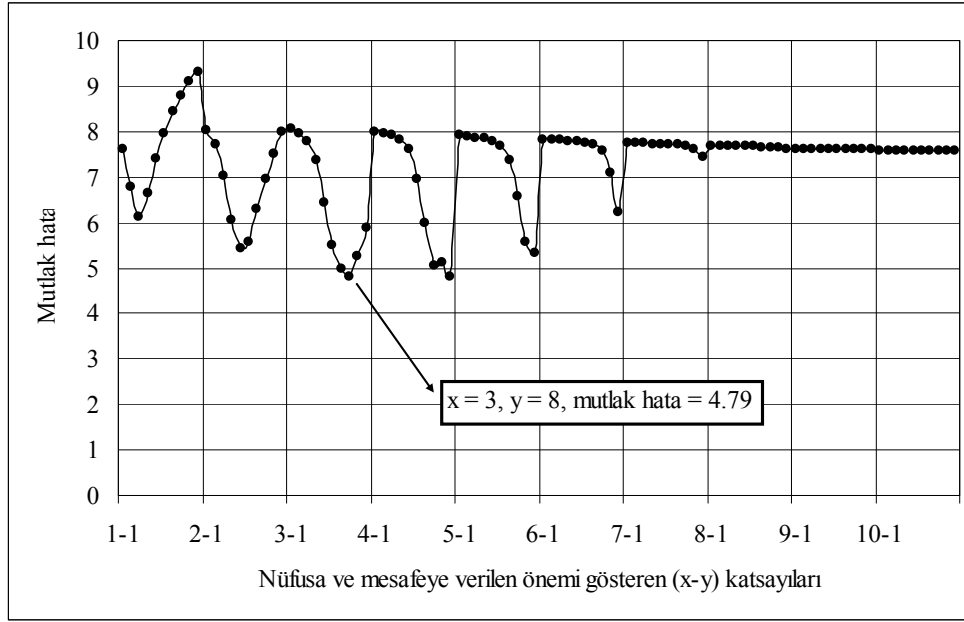
$$V_4 = T_{AB} \cdot P_{AB}^4 + T_{CB} \cdot P_{CB}^4 + T_{AD} \cdot P_{AD}^4 = 15,88 \text{ ta / sa}$$

$$V_5 = T_{AD} \cdot P_{AD}^5 + T_{BC} \cdot P_{BC}^5 + T_{BD} \cdot P_{BD}^5 = 20,41 \text{ ta / sa}$$

$$V_6 = T_{DA} \cdot P_{DA}^6 + T_{CB} \cdot P_{CB}^6 + T_{DB} \cdot P_{DB}^6 = 20,41 \text{ ta / sa}$$

$$V_7 = T_{BC} \cdot P_{BC}^7 + T_{DA} \cdot P_{DA}^7 + T_{DC} \cdot P_{DC}^7 = 22,30 \text{ ta / sa}$$

$$V_8 = T_{CB} \cdot P_{CB}^8 + T_{AD} \cdot P_{AD}^8 + T_{CD} \cdot P_{CD}^8 = 22,30 \text{ ta / sa}$$



Şekil 2. x ve y değerlerine göre mutlak hata değerleri (Absolute error values according to the x and y values)

Ayrıca, x ve y değerlerine karşılık gelen mutlak hata değerlerinin gösterildiği grafik Şekil 2'de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, x değeri 1 ile 7 arasında mutlak hatada dalgalanma olduğu, 7'den büyük olduğunda ise mutlak hatanın 7,5 ile 8 arasında bir değerde hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla, 7'den büyük x değerleri için mesafeye verilen önem katsayısı y'nin önemi olmamaktadır. Bu durumu daha iyi gözleyebilmek için, x değerlerinin sabit ve y değerlerinin değişken olarak alıp, $x \geq 7$ durumu için standart sapmalara bakmak faydalı olacaktır. Sırasıyla, x değeri 7,8,9 ve 10 için standart sapma değerleri 0.098, 0.020, 0.006, 0.002 olarak bulunmuştur. Buradan da, mutlak hatadaki değişimin $x \geq 7$ için çok küçük olduğu anlaşılmaktadır.

Buna ek olarak, dalgalanmanın olduğu x'in 1 ile 7 arasındaki değerleri için x'in sabit tutulup y'nin artırıldığı ve y'nin sabit tutulup x'in artırıldığı durumların her biri dikkate alınarak, standart sapma değerleri bulunduğunda, birinci durum için standart sapmaların toplamı 6.20, ikinci durum için ise 3.35 olarak bulunmuştur. Bunun sonucunda da, mesafeye verilen önemi gösteren y değerinin nüfusa verilen önemi gösteren x değerine nazaran hatanın azaltılmasında daha etkili olduğu görülmektedir.

Tahmin edilen (B-S) matrisi, ulaştırma ağındaki bölgelerin ekonomik durumunu yansıtan nüfus değerlerini ve bölgeler arası uzaklık değerlerini içermesi açısından avantajlıdır. Diğer modellerde, ekonomik ölçüt bulunmamaktadır. Bu da, (B-S) matrisi tahmininde, akım kısıtlarını sağlamakla beraber güvenli olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrıca, linklerdeki gözlenen akım değerlerinin doğru ve güvenilir olmaması, bölgelerin ekonomik durumu dikkate alınmaksızın sadece link akım kısıtı dikkate alınarak tahmin edilen (B-S) matrisinde hatalara yol açacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Helinga, B.R., **Estimating dynamic origin-destination demands from link and probe counts**, PhD Thesis, Queen's University, Canada 1994.
2. Ortuzar, J.D.D. and Willumsen, L.G., **Modelling Transport**, J. Wiley & Sons, England, 1990.
3. Abrahamsson, T., "Estimation of origin-destination matrices using traffic counts-a literature survey", **IIASA interim report**, Laxenburg, Austria, 1998.
4. Peterson, A., **The origin-destination matrix estimation problem-analysis and computations**, **Linköping Studies in Science and Technology**. PhD Thesis, Linköping University, Sweden, 2007.
5. Van Zuylen, H., and L.G. Willumsen "The most likely trip matrix estimated from traffic counts", **Transportation Research**, B 14, pp 281-293, 1980.
6. Spiess, H., "A maximum likelihood model for estimating origin-destination matrices", **Transportation Research**, B21, 395-412, 1987.
7. Nihan, N.L. and Davis, G.A., "Application of prediction-error minimization and maximum likelihood to estimate intersection O-D matrices from traffic counts", **Transportation Science**, 23-2, 77-90, 1989.
8. Lo, H.P. and Chan, C.P., "Simultaneous estimation of an origin-destination matrix and link choice proportions using traffic counts", **Transportation Research**, A37, 771-788, 2003.
9. Cascetta, E., "Estimation of trip matrices from link counts and survey data: a generalized least squares approach estimator", **Transportation Research**, B18, 289-299, 1984.
10. Hendrickson, C. and McNeil, S., "Estimation of origin-destination matrices with constrained regression", **Transportation Research Record**, 976, 25-32, 1984a.

11. Hendrickson, C. and McNeil, S., "A regression formulation of the matrix estimation problem", **Transportation Science**, 19, 278-292, 1985.
12. Ağaoğlu, M.N., **Trafik sayımlarını kullanarak Türkiye şehirlerarası otobüs taşımacılığı için başlangıç-son matrisi tahmini**, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
13. Kutlu, K., **Trafik Tekniği**, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul., 1993.