

Türkiye’de İller Arası Otomobil Yolculuklarının Çekim Yöntemi ile Modellenmesi ve CBS Ortamında İncelenmesi

Yaşar VİTOŞOĞLU*¹, H. Canan GÜNGÖR², Polat YALINIZ¹

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kütahya

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay ve Uydu
Bilimleri Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 15.02.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Literatürde başlangıç-son (O-D) matrislerini elde etmek için birçok model olmasına rağmen, ev anketlerini veya yol kenarı görüşmelerini esas alan yaklaşımların kullanılması pahalıdır. Bu nedenle, O-D matrislerini elde etmek için daha ucuz olan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi Bell tarafından geliştirilmiş olup, yolculuk matrislerini taşıt sayımlarından elde etmektedir. İller arası otomobil yolculuk matrisini bulmak için bu model kullanıldıktan sonra, çekim esaslı bir yolculuk dağıtım modeli geliştirilmiştir. Elde edilen matris, daha sonra mekânsal analizleri gerçekleştirmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: O-D matris tahmini, Coğrafi Bilgi Sistemleri, İller arası otomobil yolculukları

Modeling Intercity Car Travels in Turkey with the Gravity Method and Analyzing them in GIS Environment

Abstract

Although there are many models for obtaining origin-destination (O-D) matrices in the literature, using approaches based on home surveys or roadside conversations is expensive. Thus, various methods that are cheaper have been developed to obtain O-D matrices. One of these methods has been developed by Bell, and obtains travel matrices from vehicle counts. After this model was used for finding the intercity car travel matrix, a gravity based travel distribution model was developed. The matrix obtained was then transferred to Geographic Information Systems (GIS) environment for realizing spatial analyses.

Keywords: O-D matrix estimation, Geographic Information Systems, Intercity car travels

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yaşar VİTOŞOĞLU, yasar.vitosoglu@dpu.edu.tr

1. GİRİŞ

Mevcut verilerin miktarı ve tutarlılığı, ulaştırma ile ilgili doğru ve sağlıklı kararların alınmasında oldukça önemlidir. Ayrıca, bu bilgilerin uygun bilgi sistemleri kullanılarak depolanması, değerlendirilmesi ve analiz edilmesi, karar vericilerin etkin politikalar oluşturmasında önemli bir rol oynar. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan etkili araçlardan biridir. Dolayısıyla, Türkiye’de gerçekleştirilen iller arası otomobil yolculuklarına ilişkin bilgilerin değerlendirilmesi için bu çalışmada da CBS’den yararlanılmıştır. Bu amaçla iller arası otomobil yolculuğu matrisi CBS ortamına aktarılmıştır. Böylece karşılaştırma ve sorgulamaları yapmak için bu matrisi görsel bir ortamda değerlendirmek mümkün olmuştur.

Başlangıç-son (O-D) matrisleri, birçok yolculuk analizi için temel girdilerden biri olup bu matrisleri tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, ev anketlerini ya da yol kenarında gerçekleştirilen görüşmeleri esas alan yöntemlerin kullanılması pahalı ve zaman alıcı olmaktadır. Bu yüzden, O-D matrislerini teşkil etmek için pahalı ve zaman alıcı olmayan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Karayollarındaki taşıtların sayısı, yolculuk matrisi ile araç kullananların güzergâh seçimine ilişkin verdikleri kararların bir bileşkesi olup sayım yapılan karayolu bağlantılarını kullanan tüm O-D çiftleri hakkında bilgi verirler.

Ayrıca, trafiği aksatmadan ve kolay bir şekilde elde edildiklerinden oldukça cazip bir veri kaynağıdır. Dolayısıyla, 1980’li yılların başından itibaren taşıt sayımlarından yolculuk matrislerinin oluşturulması düşüncesi, araştırmacıların dikkatini çekmiş ve bu konuda çeşitli metotlar ileri sürülmüştür. Türkiye’de iller arası otomobil yolculuklarına dair O-D matrisinin elde edilmesinde yararlanılan model, M. G. H. Bell tarafından 1983 yılında geliştirilmiş olup bu metotlardan birisidir [1,2].

2. M. G. H. BELL TARAFINDAN GELİŞTİRİLEN MODEL

N tane bölgenin bir karayolu ağıyla birbirine bağlı olduğu kabul edilirse, yolculuk matrisi N^2 öğeden meydana gelir. Şayet bölge içindeki yolculuklar göz ardı edilirse, yolculuk matrisindeki öğe sayısı $N^2 - N$ olur. Taşıt sayımlarından bir O-D matrisini oluşturan bu N^2 sayıdaki öğenin bulunabilmesi için, her bir başlangıç noktasından her bir son noktaya gerçekleştirilen yolculukların takip ettikleri güzergâhlar önceden belirlenmelidir. Eğer i bölgesinden j bölgesine gerçekleştirilen yolculukların a bağlantısını kullanma ihtimali ya da oranı p_{ij}^a ile belirtilirse, bu bağlantı üzerinde meydana gelen trafik akımı (V_a), bölgeler arasında gerçekleştirilen tüm yolculukların o bağlantıyı kullanan kısımlarının toplamı olacaktır. Bu, matematiksel olarak Eşitlik 1 ile ifade edilebilir:

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

p_{ij}^a olasılıkları, karmaşıklık seviyeleri birbirinden farklı olan çeşitli yolculuk ataması yöntemlerinden biri ile elde edilebilir. Bu atama yöntemlerinin karmaşıklık seviyeleri ise, hep-ya da-hiç atamasından denge atamasına doğru gidildikçe artar. Sonuç olarak, bütün p_{ij}^a oranları ve gözlenmiş taşıt sayımları (V_a) verildiğinde, problemin L tane simültane doğrusal denklem takımından belirlenecek N^2 sayıda T_{ij} bilinmeyeni olacaktır. Burada L, taşıt sayımlarının yapıldığı karayolu bağlantılarının toplam sayısını belirtmektedir.

Trafik sayımlarından yolculuk matrisini elde etmek için yararlanılan atama yöntemleri, iki ana grupta sınıflandırılabilir. Birinci gruba dâhil olan atama yöntemleri, her bir güzergâhı seçen sürücülerin sayısının veya oranının bağlantılar üzerindeki akım düzeylerine bağlı olmadığını varsayar. Bu gruba dâhil olan atama yöntemlerinin çok bilinen örneği, hep-ya da-hiç atamasıdır ve bu yaklaşımda p_{ij}^a olasılıkları Eşitlik 2’de verildiği gibi tanımlanır:

$$p_{ij}^a = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } i \text{ başlangıç noktasından} \\ & j \text{ son noktasına yapılan} \\ & \text{yolculuklar } a \text{ bağlantısını} \\ & \text{kullanıyorsa} \\ 0 & \text{Kullanılmıyorsa} \end{cases} \quad (2)$$

Salt stokastik olan atama yöntemleri de birinci grupta yer alırlar. Ancak, p_{ij}^a olasılıkları bu durumda 0 ile 1 arasında çeşitli değerler alabilir. Diğer taraftan, ikinci gruba dâhil olan atama yöntemleri tıkanıklık etkisini dikkate alırlar. Bu nedenle, her bir O-D çifti arasında gerçekleştirilen yolculukların herhangi bir bağlantıdan geçme ihtimali, aynı zamanda o bağlantı üzerindeki araç miktarına bağlıdır. Denge ve stokastik kullanıcı dengesi atama yaklaşımları, bu grupta yer alırlar.

Prensipite, N^2 sayıda birbirinden bağımsız ve birbiriyle uyumlu taşıt sayımı, tek bir T yolculuk matrisini belirlemek için gereklidir. Bununla birlikte, uygulamada, taşıt sayımlarının sayısı T_{ij} bilinmeyenlerinin sayısından çok daha azdır. Bu yüzden, ağa atandıkları zaman, genellikle gözlenen taşıt sayımlarıyla tutarlı sonuçlar veren birden çok sayıda yolculuk matrisi elde edilecektir. Bu durum, bir O-D matrisini elde etme problemi için tek bir çözümün bulunamayacağı anlamına gelir. Bu problemi çözmek için, iki farklı yaklaşımdan yararlanılabilir. İlk yaklaşımda, belirlenecek matris için elverişli olan çözümlerin kümesi, bir çekim veya doğrudan talep modeli tarafından sağlanan belirli bir yapının probleme ilave edilmesiyle kısıtlanır. İkinci yaklaşımda ise, bir O-D matrisini belirlemek için gerekli olan minimum düzeydeki ek bilgiyi sağlamak üzere, maksimum olasılık ya da entropi maksimizasyonu gibi temel prensiplerden istifade edilir [3].

Robillard [4], Hogberg [5] ve LeBlanc [6] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ilk yaklaşımı izlemiştir. Öte yandan, Wilson [7], Van Zuylen ve Willumsen [8] ile McNeil ve Hendrickson [9] O-D matrislerini oluşturmak için entropi maksimizasyonu yöntemlerini benimsemiştir. Diğer taraftan, bilgi minimizasyonu modeli [8], genelleştirilmiş en küçük kareler modeli [10] ve Bayes modeli [11] gibi diğer yöntemler de bu amaç için kullanılmaktadır. Bu modellerin uygulanan teoriye dayalı kendi karakteristik

özellikleri ve uygulama koşulları vardır. Bundan başka, Yang [12], son yıllarda gözlenmiş bağlantı akımlarından O-D matrislerinin tahmin edilmesi için iki seviyeli bir formülasyon geliştirmiştir. Ayrıca, etkili algoritmalar kullanılarak dinamik O-D matrislerini tahmin etmek için çeşitli araştırmacılar tarafından başka çalışmalar da gerçekleştirilmiştir [13-16].

Bell tarafından geliştirilen model, esasında modifiye edilmiş bilgi minimizasyonu modeline benzemektedir. Eğer güzergâh seçimi oranları ya da olasılıkları tam olarak bilinmiyorsa, bilgi minimizasyonu modeli, tahmin sonuçları istikrarlı olmadığından uygun değildir. Bu yüzden, Van Zuylen ve Willumsen [8], geçmiş yolculukların toplam sayısı ile gerçek yolculuklar arasındaki farkı düzeltmek için bilgi minimizasyonu modelini modifiye etmişlerdir. Bell tarafından kullanılan modifiye edilmiş bilgi minimizasyonu modelinin yapısı, Eşitlik 3'te verilmektedir:

$$V_a = \sum_{ij} t_{ij}^o \tau \left(\prod_a X_a^{p_{ij}^a} \right) p_{ij}^a \quad (3)$$

Burada;

V_a = sayım yapılan a bağlantısı üzerinde gözlenen taşıt sayısı,

t_{ij}^o = i ve j bölgeleri arasında gerçekleştirilen yolculukların başlangıç için kabul edilen değeri,

τ = bir kalibrasyon sabiti,

X_a = tahmin edilecek parametrelerin vektörü,

p_{ij}^a = i ve j bölgeleri arasında gerçekleştirilen yolculukların sayım yapılan a bağlantısını kullanma ihtimalidir.

Daha sonra τ ve X_a parametreleri, yinelemeli bir süreçte bağlantı akımı kısıtlarını sağlamak suretiyle çözülebilir. τ Değeri için kullanıcı tarafından başka değerler tanımlanmadığı sürece, X_a parametreleri başlangıç olarak 1'e eşitlenerek bu değer Eşitlik 4'te verilen denklem yardımıyla belirlenebilir:

$$\tau = \frac{\sum V_a}{\sum_a \sum_{ij} p_{ij}^a} \quad (4)$$

Sonraki aşamalarda, τ değeri, tanımlanan veya yukarıdaki eşitlik yardımıyla belirlenen değerinde sabit tutulur. Diğer taraftan, X_a ’ların başlangıç için tahmin edilen değerlerinin çok sayıda iterasyon gerçekleştirilerek düzeltilmesi, çözüm prosedürünü oluşturur. Sayım yapılan bütün bağlantılar için her bir iterasyonda, bir h_a düzeltme faktörü hesaplanır. Daha sonra, bu düzeltme faktörü, aşağıda verilen formülde gösterildiği gibi, X_a değerini elde etmek için X_a teriminin başlangıçtaki tahmini değerine ilave edilir: (Eşitlik 5)

$$X'_a = X_a + h_a \quad (5)$$

h_a değerlerinin belirlenmesinde yararlanılan formül ise aşağıda verilmektedir: (Eşitlik 6)

$$h_a = \frac{V_a - \sum_{ij} t_{ij}^o \left(\prod_a X_a^{p_{ij}^a} \right) p_{ij}^a}{\sum_{ij} t_{ij}^o p_{ij}^{a2} \left(\prod_{b \neq a} X_b^{p_{ij}^b} \right) X_a^{(p_{ij}^a - 1)}} \quad (6)$$

Sayım yapılan bütün bağlantılar için h_a değerlerini yinelemeli olarak belirleme işlemi, bütün bağlantılar üzerinde gözlenen ve tahmin edilen taşıt sayımları arasındaki fark kullanıcı tarafından belirtilen sınırlar içinde kalıncaya kadar sürer. X_a Terimlerinin sonuncu değerleri tüm bağlantılar için belirlendikten sonra, yolculuk matrisinin öğeleri aşağıdaki eşitlikten bulunur: (Eşitlik 7)

$$T_{ij} = \pi_{ij}^o \prod_a (X_a)^{p_{ij}^a} \quad (7)$$

En sonunda, yolculuk matrisinin bütün T_{ij} öğeleri belirlenmiş ve O-D matrisi elde edilmiş olur [1,2].

3. TÜRKİYE’DE İLLER ARASI OTOMOBİL YOLCULUĞU MATRİSİNİN BELİRLENMESİ

Türkiye, Asya ile Avrupa arasında uzanan stratejik bir konuma sahip olup 783.356 km²’lik yüzey alanıyla oldukça büyük bir ülkedir. 2015 Yılında gerçekleştirilen nüfus sayımına göre Türkiye’nin nüfusu 78.741.053’tür ve bu nüfusun %73,4’ü kentsel alanlarda yaşamaktadır [17].

Türkiye, idari amaçlar için 81 ile bölünmüştür. Her il ilçelere bölünmüş olup, ilçelerin sayısı 923’tür. Bu ilçeler, 66.774 km uzunluğunda bir karayolu ağıyla birbirine bağlıdır. Bu karayolu ağı, otoyollar, devlet yolları ve il yollarından oluşmaktadır. Devlet yollarının, il yollarının ve otoyolların uzunlukları, sırasıyla 31.106 km, 33.513 km ve 2.155 km’dir. Buna ilave olarak, Türkiye’de karayolu yolcu taşımacılığının payı, yaklaşık %92’dir [18].

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için illere dayalı bölgeleme yapılmış ve 2015 yılı için iller arası otomobil yolculukları matrisinin belirlenmesinde 81 ilin tümü göz önüne alınmıştır. Bu amaçla teşkil olunan ve Transport Programındaki Bhnet Alt Programı kullanılarak kodlanan karayolu ağı epeyce ayrıntılı olup, 716 bağlantı, 269 düğüm noktası ve 81 bölgeden meydana gelmektedir [19]. Bu ağ, Şekil 1’de gösterilmektedir. Atama yöntemi olarak, hep-ya da-hiç algoritması kullanılmıştır. İl merkezleri olan şehirlerin arasındaki uzaklıklar, en kısa güzergâhları belirlemede maliyet parametreleri olarak alınmıştır. Böylece, hep-ya da-hiç ağaçları ve en kısa yollar bu maliyet parametreleri dikkate alınmak suretiyle Bhtree Alt Programı kullanılarak teşkil edilmiştir. Sonuç olarak, p_{ij}^a olasılıkları, bu hep-ya da-hiç ağaçlarından elde edilmiştir. Buna ek olarak, hızların tüm bağlantılar için aynı olduğu varsayılmış ve 90 km/s değeri kullanılmıştır.

İller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarının tahmin edilmesi için, eksenler bazında verilen otomobil ya da taşıt sayımlarından O-D matrisleri teşkil edebilen ve Transport Programında bulunan Vmat Altprogramından

faidalanılmıştır [19]. Bu altprogramın çalışma prensibi Bell tarafından geliştirilen modele dayanmaktadır.

Transport Programı, Fortran dilinde yazılmış olup Halcrow Fox Firması tarafından geliştirilmiştir. Bu program, kullanıcıların yüksek kapasiteli ve hızlı bilgisayarlara başvurma gereği duymaksızın etkili analitik yöntemleri uygulamalarına olanak tanımaktadır. Bu yöntemlerden bazıları şu şekilde özetlenebilir: yolculuk dağıtım modellerinin otomatik kalibrasyonu, logit model türel dağılım analizi, trafik sayımlarından yolculuk matrisi tahmini ve denge ataması. Program, ortak dosyalar aracılığıyla birbirine bağlanan birbirinden bağımsız modüller olarak tasarlanmıştır. Dolayısıyla program, kullanıcının uygulamasına uygun bir model oluşturmasını sağlamak için bir dizi bağımsız alt dosyalar oluşturmasına imkân verir. Programın dosya biçimi basit olduğundan, bu dosyalara diğer programlardan erişmek kolaydır. Ayrıca program, daha başka programların ilave edilmesine de imkân vermektedir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, trafik sayımlarından matrislerin tahmin edilmesinde, Vmat Altprogramı kullanılır. Bu program, üç altprogramdan oluşur. Vmat1 Altprogramı, Vmat3 Altprogramına girdi olacak veri dosyalarını üretmek için kullanılan iki programdan birincisidir. Vmat1 Programının temel amacı, her bir başlangıç-son çifti arasındaki yolculukların her bir sayım noktasından geçme olasılığını tanımlamaktır. Vmat2 Altprogramı, Vmat3 Altprogramına girdi olacak veri dosyalarını üretmek için kullanılan iki programdan ikincisidir. Bu ikinci programın amacı, trafik sayımları için bir veri dosyası oluşturmaktır. Vmat3 Altprogramı, girilen trafik sayımları ve güzergâh olasılıklarının yanında, eğer gerekli ise girilen yolculuk uzunluğu dağılımı ile uyumlu yolculuk matrisini meydana getirir. Bu programın temel amacı, Newton-Raphson tekniğini kullanarak ayrı ya da grup sayım yerlerindeki trafik sayımlarının girdi dosyalarından ve güzergâh olasılıklarından en muhtemel yolculuk matrisini oluşturmaktır [19].

Bilindiği gibi, Vmat Altprogramı, başlangıç matrisinin iyi tanımlanmış olması durumunda daha iyi sonuçlar verir. Başlangıç matrisi, genel olarak daha önceki çalışmalardan elde edilen matrisler kullanılarak oluşturulabilir. Öte yandan, Türkiye’de önceki yıllarda 81 il için ev anketlerini veya yol kenarı görüşmelerini esas alan böyle bir çalışma gerçekleştirilmediğinden iller arası otomobil yolculuklarına dair başlangıç matrisinin teşkil edilmesi için Çekim Modelinin prensiplerinden istifade edilmiştir. Bunun için, bir i ilinden bir j iline gerçekleştirilen otomobil yolculuklarının, i ile j illerinin nüfuslarının üstel fonksiyonlarının çarpımları ile doğru orantılı ve bu iki ilin arasındaki mesafenin üstel bir fonksiyonu ile ters orantılı olduğu kabul edilmiştir. Bu ifade, Eşitlik 8’de daha açık bir şekilde özetlenebilir:

$$t_{ij}^o = k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (8)$$

Burada;

t_{ij}^o : i ilinden j iline gerçekleştirilen günlük otomobil yolculuklarının başlangıç için kabul edilen değeri (otomobil/gün),

P_i : i ilinin nüfusu (kişi),

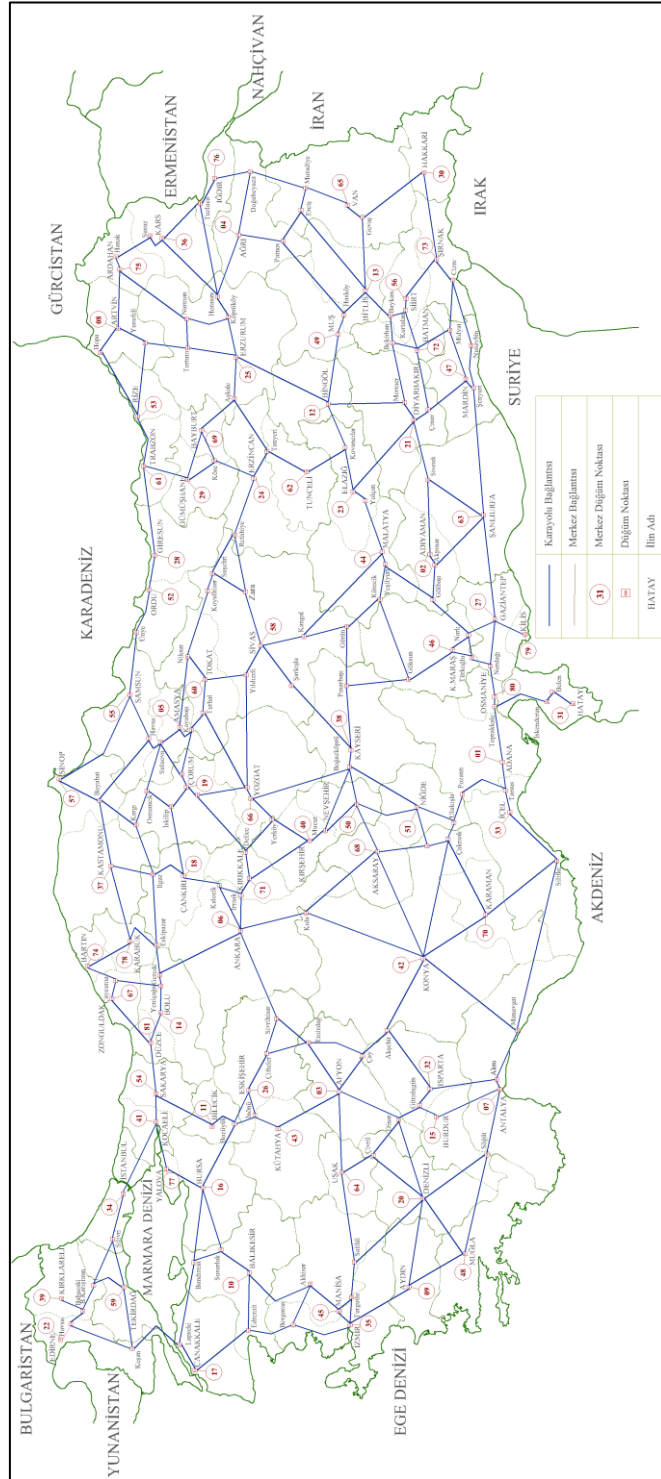
P_j : j ilinin nüfusu (kişi),

k : bir katsayı,

d_{ij} : i ve j illeri arasındaki mesafe (km),

α , β ve γ : kalibrasyon sabitleridir.

Çalışmada Çekim Modelinin en eski ve sade biçimi temel alınarak α , β ve γ kalibrasyon sabitlerinin sırasıyla 1, 1 ve 2 değerlerini aldığı varsayılmıştır. Çalışmaya konu olan 81 ilin 2015 yılı nüfusları, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen sayımların sonuçlarından elde edilmiş olup trafik kodlarıyla beraber Çizelge 1’de verilmektedir. İller arasındaki uzaklıklar, karayolu uzaklık matrisinden elde edilmiştir.



Şekil 1. 716 Bağlantı, 269 düğüm noktası ve 81 bölgeden oluşan karayolu ağı

Bu matris, Transport Programı kullanılarak teşkil edilen karayolu ağı esas alınarak suretiyle belirlenmiştir. Böylece, yukarıda değinilen çekim modeliyle teşkil edilen başlangıç matrisi ile karayolu bağlantıları üzerindeki Yıllık Ortalama

Günlük Trafik (YOGT) cinsinden verilen 2015 yılına ait otomobil sayıları Vmat Altprogramına girilerek 2015 yılı için iller arası günlük otomobil yolculuğu O-D matrisi bulunmuştur.

Çizelge 1. İllerin 2015 yılına göre nüfusları

İlin Trafik Kodu	İlin İsmi	İlin Nüfusu	İlin Trafik Kodu	İlin İsmi	İlin Nüfusu	İlin Trafik Kodu	İlin İsmi	İlin Nüfusu
1	Adana	2.183.167	28	Giresun	426.686	55	Samsun	1.279.884
2	Adıyaman	602.774	29	Gümüşhane	151.449	56	Siirt	320.351
3	Afyonkarahisar	709.015	30	Hakkari	278.775	57	Sinop	204.133
4	Ağrı	547.210	31	Hatay	1.533.507	58	Sivas	618.617
5	Amasya	322.167	32	Isparta	421.766	59	Tekirdağ	937.910
6	Ankara	5.270.575	33	Mersin	1.745.221	60	Tokat	593.990
7	Antalya	2.288.456	34	İstanbul	14.657.434	61	Trabzon	768.417
8	Artvin	168.370	35	İzmir	4.168.415	62	Tunceli	86.076
9	Aydın	1.053.506	36	Kars	292.660	63	Şanlıurfa	1.892.320
10	Balıkesir	1.186.688	37	Kastamonu	372.633	64	Uşak	353.048
11	Bilecik	212.361	38	Kayseri	1.341.056	65	Van	1.096.397
12	Bingöl	267.184	39	Kırklareli	346.973	66	Yozgat	419.440
13	Bitlis	340.449	40	Kırşehir	225.562	67	Zonguldak	595.907
14	Bolu	291.095	41	Kocaeli	1.780.055	68	Aksaray	386.514
15	Burdur	258.339	42	Konya	2.130.544	69	Bayburt	78.550
16	Bursa	2.842.547	43	Kütahya	571.463	70	Karaman	242.196
17	Çanakkale	513.341	44	Malatya	772.904	71	Kırıkkale	270.271
18	Çankırı	180.945	45	Manisa	1.380.366	72	Batman	566.633
19	Çorum	525.180	46	Kahramanmaraş	1.096.610	73	Şırnak	490.184
20	Denizli	993.442	47	Mardin	796.591	74	Bartın	190.708
21	Diyarbakır	1.654.196	48	Muğla	908.877	75	Ardahan	99.265
22	Edirne	402.537	49	Muş	408.728	76	Iğdır	192.435
23	Elazığ	574.304	50	Nevşehir	286.767	77	Yalova	233.009
24	Erzincan	222.918	51	Niğde	346.114	78	Karabük	236.978
25	Erzurum	762.321	52	Ordu	728.949	79	Kilis	130.655
26	Eskişehir	826.716	53	Rize	328.979	80	Osmaniye	512.873
27	Gaziantep	1.931.836	54	Sakarya	953.181	81	Düzce	360.388

2015 Yılı Trafik ve Ulaşım Bilgileri İstatistiklerinde otomobil için YOGT değerleri, iki yönün toplamı olarak verildiğinden ve iller arası günlük otomobil yolculuğu matrisinin simetrik olması gerektiği varsayıldığından, bu değerlerin yarısı Vmat Alt Programında kullanılmıştır [20]. İllerin birbirlerine hem karayolu hem de otoyolu ile bağlanması durumunda, iller arasındaki yol kesimlerinin otomobil YOGT değeri olarak, karayolu ve otoyolu kesimlerindeki otomobil YOGT değerlerinin toplamı alınmıştır. Otoyol kesimlerinde taşıtlar ağır ve hafif araçlar olarak iki sınıfa bölündüğünden, otoyollar üzerindeki otomobil YOGT değerlerinin belirlenmesinde, hafif araçların tamamının otomobil olduğu kabul edilmiştir. O-D matrisini elde etmek için kullanılmış olan karayolu bağlantıları üzerindeki

2015 yılına ait otomobil sayıları Çizelge 2'de gösterilmektedir [20]. Elde edilen 2015 yılına ait 81x81 boyutundaki iller arası otomobil yolculukları matrisinin trafik plakası numarasına göre sıralanmış ilk 12 il arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını gösteren 12x12 boyutundaki ilk kısmı, Çizelge 3'te verilmektedir. Çizelgede birinci satırdaki numaralar ile birinci sütunda parantez içinde verilen numaralar illerin trafik plakası numarasını belirtmektedir. Yine elde edilen iller arası otomobil yolculukları matrisinin bir kısmı da, bazı il çiftleri için Çizelge 4'te gösterilmektedir. Bu çizelgede de birinci satırdaki numaralar ile birinci sütunda parantez içinde verilen numaralar illerin trafik kodunu belirtmektedir.

Çizelge 2. Karayolu bağlantıları üzerindeki yıllık ortalama günlük trafik cinsinden otomobil sayıları

Kesim No.	Karayolu Kesimi	Otomobil Sayısı	Kesim No.	Karayolu Kesimi	Otomobil Sayısı	Kesim No.	Karayolu Kesimi	Otomobil Sayısı
1	Burdur-İsparta Ayrımı	8.762	43	Erzurum-Tortum	2.033	85	Antalya-Burdur	8.043
2	İstanbul-Silivri	45.483	44	Ordu-Samsun	13.551	86	Antalya-İsparta	4.167
3	Babaeski-Lüleburgaz	21.113	45	Ağrı-Patnos	1.601	87	Konya-Manavgat	3.518
4	Gelibolu-Keşan	5.995	46	İğdir-D.Beyazıt	1.500	88	Havsa-Babaeski	10.595
5	Lapseki-Bandırma	3.537	47	Kovancılar-Bingöl	2.369	89	Tarsus-Adana	34.889
6	İzmit-İstanbul	134.833	48	Akşehir-İsparta	2.499	90	Adana-Toprakkale	21.999
7	İzmir-Manisa	35.692	49	Bayburt-Gümüşhane	1.773	91	T.Kale-İskenderun	18.229
8	İzmit-Adapazarı	55.704	50	Gümüşhane-Trabzon	4.930	92	Osmaniye-Nurdağı	18.515
9	Düzce-Bolu	27.819	51	Uşak-Salihli	6.371	93	Bingöl-Mermer	1.176
10	Düzce-Zonguldak	6.382	52	Afyon-Uşak	9.352	94	Narlı-K.Maraş	8.814
11	Düzce-Adapazarı	32.422	53	Afyon-Kütahya	11.356	95	Horasan-Ağrı	1.683
12	Narlı-Gölbashi	6.394	54	Kütahya-Eskişehir Ayrımı	12.541	96	Mardin-Midyat	2.824
13	Karabük-Bartın	3.934	55	İnegöl-Bozüyük	11.995	97	Tanyeri-Tunceli	1.007
14	Çaycuma-Bartın	4.814	56	Çay-Akşehir	4.972	98	Ardahan-Kars	1.274
15	İlgaz-Kastamonu	2.147	57	Konya-Aksaray	3.470	99	Kalecik-Çankırı	4.013
16	Bayburt-Aşkale	1.125	58	Çakmak-Ulukışla	9.462	100	Çankırı-İskilip	2.102
17	Gerede-Eskipazar	9.073	59	Kovancılar-Tunceli	1.318	101	Merzifon-Çorum	7.555
18	Karabük-Kastamonu	3.169	60	Konya-Karaman	4.074	102	Tokat-Turhal	6.605
19	Kastamonu-Boyabat	3.289	61	Ulukışla-Pozantı	10.620	103	Kırıkkale-Kırşehir	7.595
20	Sinop-Samsun	2.425	62	Niğde-Kayseri	4.309	104	Aksaray-Çakmak	4.665
21	Havsa-Samsun	14.650	63	Aksaray-Nevşehir	4.807	105	Kayseri-Pınarbaşı	4.493
22	Ordu-Giresun	13.615	64	Niğde-Nevşehir	2.117	106	Muş-Hasköy	2.044
23	Giresun-Trabzon	10.063	65	Kayseri-Yozgat	2.728	107	Refahiye-Erzincan	1.836
24	Trabzon-Rize	10.264	66	Malatya-Doğuşehir	2.909	108	Uşak-Çivril	2.532
25	Rize-Hopa	3.913	67	Gaziantep-Şanlıurfa	13.401	109	Erzincan-Köse	1.177
26	Artvin-Ardahan	964	68	Adıyaman-Şanlıurfa	3.036	110	Tercan-Aşkale	1.839
27	İğdir-Tuzluca	932	69	Şanlıurfa-Şenyurt	2.714	111	Ankara-Kulu	11.975
28	Köprüköy-Horasan	2.885	70	Siverek-Diyarbakır	4.229	112	Denizli-Dinar	7.041
29	Çanakkale-Edremit	5.065	71	Mersin-Erdemli	5.094	113	Sivrihisar-Ankara	12.572
30	Akhisar-Balıkesir	9.196	72	Diyarbakır-Çınar	8.117	114	Dinar-Afyon	8.493
31	Balıkesir-Susurluk	10.440	73	Şırnak-Siirt	416	115	Gaziantep-Kilis	3.085
32	Bursa-Yalova	34.280	74	Batman-Kurtalan	2.726	116	Sivas-Yıldızeli	5.414
33	Bilecik-Adapazarı	9.424	75	Bitlis-Baykan	1.938	117	Delice-Ankara	25.485
34	Ankara-Gerede	17.101	76	Bitlis-Gevaş	1.519	118	Kırşehir-Mucur	7.793
35	Delice-Çorum	8.267	77	Gevaş-Hakkari	735	119	Bozüyük-Eskişehir	12.800
36	Kayseri-Şarkışla	3.972	78	İzmir-Aydın	32.223	120	Yerköy-Yozgat	4.733
37	Sivas-Kangal	1.249	79	Aydın-Denizli	9.699	121	Yalova-İzmit	32.254
38	Malatya-Elazığ	4.842	80	Denizli-Salihli	5.000	122	Hakkari-Şırnak	493
39	Elazığ-Diyarbakır	2.886	81	Boyabat-Havsa	2.599	123	Denizli-Muğla	2.773
40	Silvan-Mermer	2.329	82	Aydın-Muğla	11.843	124	Karabük-Eskipazar	3.776
41	Bingöl-Muş	2.162	83	Altınayla-Muğla	5.162	125	Nevşehir-Kayseri	4.974
42	Bingöl-Erzurum	2.348	84	Altınayla-Denizli	3.315			

Çizelge 3. 2015 Yılına ait 81x81 boyutundaki iller arası otomobil yolculukları matrisinin trafik plakası numarasına göre sıralanmış ilk 12 il arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını gösteren 12x12 boyutundaki ilk kısmı

İller	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Adana (1)	0	111	14	8	7	265	245	11	56	8	4	6
Adıyaman (2)	111	0	2	5	1	47	27	1	8	2	2	1
Afyonkarahisar (3)	14	2	0	1	3	344	281	13	118	55	47	1
Ağrı (4)	8	5	1	0	1	16	9	64	2	0	0	19
Amasya (5)	8	1	3	1	0	105	7	27	4	1	1	0
Ankara (6)	265	47	345	16	105	0	353	82	185	112	107	11
Antalya (7)	246	27	281	9	7	353	0	12	496	97	39	3
Artvin (8)	11	1	14	63	28	83	12	0	26	5	13	26
Aydın (9)	55	8	118	2	4	185	496	26	0	130	19	3
Balıkesir (10)	8	2	56	0	1	112	97	5	131	0	16	1
Bilecik (11)	4	2	47	0	1	107	39	13	19	16	0	1
Bingöl (12)	6	1	1	19	0	11	3	25	3	1	1	0

Çizelge 4. Bazı il çiftleri için regresyon analizine dayalı çekim esaslı yolculuk dağıtım modelinden elde edilen otomobil yolculukları ve gözlenmiş otomobil yolculukları

İller		1	6	16	21	34	35	38	42	44	55
Adana (1)	Gözlenmiş	0	265	38	50	159	43	174	223	48	28
	Regresyon Modeli	0	246	69	106	166	81	184	237	108	50
Ankara (6)	Gözlenmiş	265	0	871	52	2.785	495	765	2.128	65	329
	Regresyon Modeli	246	0	441	77	931	293	378	720	82	224
Bursa (16)	Gözlenmiş	38	868	0	12	8.313	179	72	179	12	22
	Regresyon Modeli	69	441	0	29	1.677	500	69	163	26	58
Diyarbakır (21)	Gözlenmiş	50	52	12	0	51	5	29	11	137	20
	Regresyon Modeli	106	77	29	0	76	32	63	45	167	34
İstanbul (34)	Gözlenmiş	157	2.757	8.373	50	0	393	278	266	48	265
	Regresyon Modeli	166	930	1.677	76	0	582	171	282	66	177
İzmir (35)	Gözlenmiş	43	496	179	5	391	0	42	189	8	35
	Regresyon Modeli	81	293	500	32	582	0	65	178	27	48
Kayseri (38)	Gözlenmiş	174	766	73	29	281	42	0	259	57	66
	Regresyon Modeli	184	378	70	63	171	65	0	222	99	83
Konya (42)	Gözlenmiş	223	2.130	180	11	266	189	259	0	21	64
	Regresyon Modeli	237	721	163	45	283	178	222	0	47	59
Malatya (44)	Gözlenmiş	48	65	12	137	48	8	57	21	0	25
	Regresyon Modeli	108	82	26	167	66	27	99	47	0	38
Samsun (55)	Gözlenmiş	28	325	22	20	261	35	65	63	25	0
	Regresyon Modeli	50	224	58	34	177	48	83	59	38	0

4. OTOMOBİL YOLCULUKLARININ ÇOKLU REGRESYON ANALİZİYLE MODELLENMESİ

İller arası otomobil yolculukları matrisinin bulunmasından sonra, bu matristen elde edilen O-D bilgileri için çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizin gerçekleştirilmesi için Excel programı kullanılmıştır. Pearson yöntemi, analizde değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının belirlenmesinde kullanılmıştır. Parametrelerin anlamlılık düzeyleri için $p < 0,05$ olması gerektiği kabul edilmiştir. Burada iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculukları bağımlı değişken olarak alınırken, illerin nüfusları ve aralarındaki uzaklıklar ise bağımsız değişkenler olarak alınmıştır. Analizde, parametreler arasındaki ilişkinin, başlangıç matrisindeki gibi olduğu varsayılmıştır. Bu ilişki ise, aşağıda verilmektedir: (Eşitlik 9)

$$\overline{T}_{ij} = k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (9)$$

Burada;

\overline{T}_{ij} : i ilinden j iline gerçekleştirilen günlük otomobil yolculukları (otomobil/gün),

P_i : i ilinin nüfusu (kişi),

P_j : j ilinin nüfusu (kişi),

k : bir katsayı,

d_{ij} : i ve j illeri arasındaki mesafe (km),

α , β ve γ : kalibrasyon sabitleridir.

Yukarıda verilen eşitlik, çoklu doğrusal regresyon analizini gerçekleştirmek için, eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak doğrusal hale getirilmiştir. Analizde kullanılan tüm parametreler sayısal olup, bağımlı değişken olarak iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculukları (otomobil/gün), bağımsız değişkenler olarak ise illerin nüfusları (kişi) ile aralarındaki mesafeler (km) alınmıştır. Bu işlem, Eşitlik 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir:

$$\log(\overline{T}_{ij}) = \log \left(k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \right) \quad (10)$$

$$\log(\overline{T}_{ij}) = \log(k) + \alpha \cdot \log(P_i) + \beta \cdot \log(P_j) - \gamma \cdot \log(d_{ij}) \quad (11)$$

$$Y = A + \alpha.X_1 + \beta.X_2 - \gamma.X_3 \quad (12)$$

İller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını belirlemek için yapılan çoklu regresyon analizinde, bağımsız değişkenlerin katsayıları belirlenmiştir. İlk olarak, varyans analizinin gerçekleştirilmesiyle, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanıp açıklanmadığı, başka bir deyişle, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı test edilmiştir [21]. Bu analiz için F testi gerçekleştirilmiş ve sonucun anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Parametrelerin anlamlılıkları ise, Student testi ile araştırılmış ve anlamlılık 0,05’den küçük bulunmuştur.

Gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi, uygunluk değerini (r kare değeri) 0,667434 olarak vermiştir. Buna ek olarak, α , β ve γ kalibrasyon sabitleri sırasıyla 0,64409, 0,644288 ve 1,84626 olarak bulunmuştur. Bu analizden, k sabiti ise 0,021426932 olarak elde edilmiştir.

Daha sonra, bu regresyon analizinden elde edilen bağımsız değişkenlerin katsayıları, yolculuk dağıtım modelinin kalibrasyon sabitleri olarak kullanılmıştır. Bu sabitler, iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını illerin nüfuslarına ve aralarındaki uzaklığa bağlı olarak belirleyen yukarıdaki denklemde yerleştirilerek, çekim esaslı yolculuk dağıtım modeli geliştirilmiştir. Böylece, otomobil yolculukları için ikinci bir matris belirlenmiştir. Bu matrisin elemanları, çekim esaslı yolculuk dağıtım modelinin tahmin ettiği iller arası otomobil yolculuklarının sayısını göstermektedir. Bazı il çiftleri için, iller arasında gerçekleştirilen otomobil yolculuklarını tahmin etmek üzere çoklu regresyon yöntemi kullanılarak geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar, Vmat Alt Programı tarafından bulunan günlük gözlenmiş otomobil yolculukları ile birlikte karşılaştırma yapmak amacıyla Çizelge 4’te verilmektedir. Çizelge 4’teki çoğu il çifti için, çoklu regresyon yöntemiyle geliştirilen modelin, iller arasında yapılan otomobil yolculuklarını gözlenmiş otomobil yolculuklarına oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Ancak, çekim esaslı bu model,

özellikle Türkiye’nin batısındaki büyük nüfuslu iller arasında gerçekleştirilen çok sayıda otomobil yolculuklarını iyi tahmin edememektedir.

4. İLLER ARASI OTOMOBİL YOLCULUKLARI MATRİSİNİN CBS ORTAMINA AKTARILMASI

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı gözlemlerden elde edilen grafiksel ve grafiksel olmayan bilgilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, gösterilmesi ve analizi için kullanılan bilgisayar tabanlı sistemlerdir. CBS tarafından sağlanan çok yönlü fonksiyonellik, bu teknolojiyi eski teknolojilerden ayırmaktadır. Çok yönlü fonksiyonelliğin bir ortamda sağlanması, kullanıcıların birbirinden tamamen farklı ve özelleşmiş teknolojilerin hepsine birden hâkim olmaları ihtiyacını ortadan kaldırır. Sahip olduğu bu özellikler sayesinde de, pek çok disiplinler arası araştırma ve uygulama çalışmalarında uygun bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Günümüzde bu yöntem, sağlık, jeoloji, çevre, ziraat, sosyoloji ve ulaşım gibi pek çok bilim dalında kendine uygulama alanı bulmuştur. Sonuç olarak, birçok organizasyon, benzersiz özelliklerinden dolayı CBS teknolojisini benimsemiştir [22].

Son yıllarda CBS teknolojisinin ulaşım alanında kullanımıyla ilgili olmak üzere, ülkelerin ulaşım politikalarını iyileştirmek ve geliştirmek amacıyla karar destek aracı olarak kullanımına yönelik örneklere rastlanmaktadır. Ulaşım ağlarındaki kapasite miktarlarının ve ağların günlük kullanımlarının tespit edilip kapasite kullanım oranlarının çıkarılması, CBS teknolojisi ile karar vericilere hızlı ve doğru kararlar aldırılmaktadır.

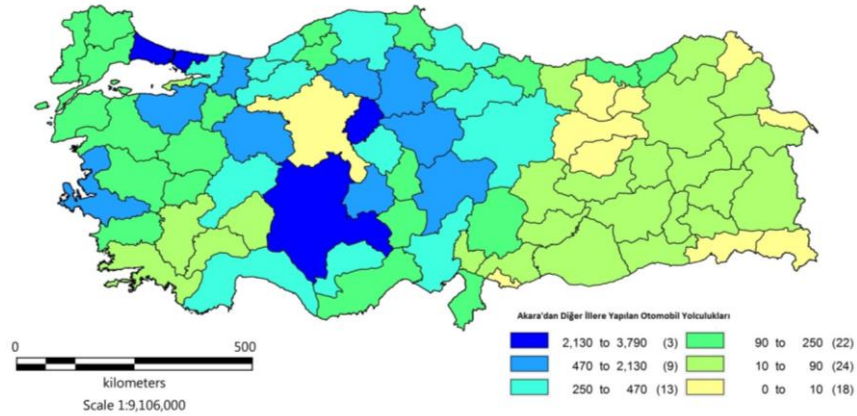
Başka bir deyişle, mekânsal sorgulamalar sonucu oluşturulan tematik haritalarla yol ağlarının kapasite kullanım oranları tespit edilebilmektedir. Ayrıca, mekânsal veriyle oluşturulan haritalar, şehir veya devlet yolları üzerinde oluşabilecek yıpranmalarla ilgili olarak, karar vericilere önemli bilgiler verebilmektedir. 2005 Yılında Ulaştırma Bakanlığı’nın isteğiyle İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından hazırlanan “Ulaştırma Ana Planı Stratejisi” Sonuç Raporu’nda, CBS

teknolojisi, veri tabanları ve proje bazlı çözümler gibi diğer teknolojiler ile karşılaştırıldığında, ulaştırma alanında faaliyet gösteren kurumlar tarafından geri dönüşüm potansiyeli en yüksek olan bilgi teknolojisi olarak tanımlanmıştır [23].

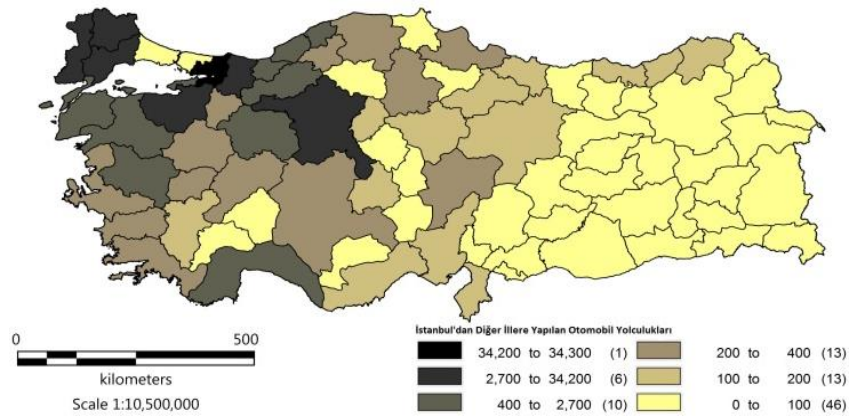
Elde edilen verilerin daha sağlıklı ve uygun bir şekilde analiz edilmesi için, iller arası otomobil yolculukları matrisi, CBS ortamına aktarılmıştır. Bunun için, ileri düzeydeki programlama dilleri kullanılarak yazılmış bir program olan MapInfo yazılımından yararlanılmıştır. Bu amaçla, öncelikle dijitalleştirilmiş bir Türkiye haritası kullanılmıştır. Bu harita üzerinde Türkiye'deki 81 ilin tamamı oluşturulmuştur. Ayrıca, her ile aynı zamanda o ilin plaka numarası olan bir kod numarası verilmiştir. Daha sonra, 2015 yılına ait iller arası

otomobil yolculuğu matrisi, CBS analizlerini gerçekleştirmek için MapInfo yazılımına uygun bir formata dönüştürülmüştür. Böylece, O-D matrisini görsel bir ortamda görmek ve bu iller arasında karşılaştırma ve sorgulama analizlerini gerçekleştirmek mümkün olmuştur.

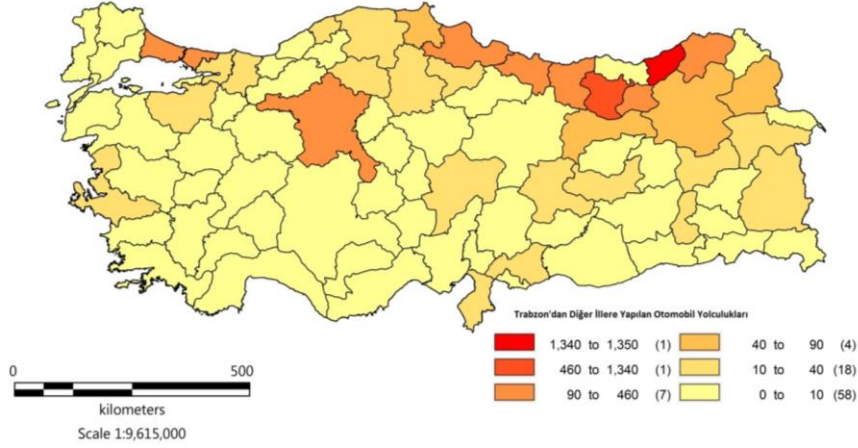
Hazırlanan tematik haritalardan biri, Şekil 2'de verilmektedir. Bu şekil, Ankara'dan diğer illere yapılan günlük otomobil yolculuklarının sayısını tematik olarak göstermektedir. Benzer şekilde, Şekil 3 ve Şekil 4'te İstanbul ve Trabzon'dan diğer illere gerçekleştirilen günlük otomobil yolculuklarını gösteren haritalar verilmektedir. Şekillerden de görülebileceği gibi, renkler koyudan açığa doğru gittikçe, diğer illere yapılan günlük otomobil yolculuklarının sayısı azalmaktadır.



Şekil 2. Ankara'dan diğer illere yapılan otomobil yolculukları



Şekil 3. İstanbul'dan diğer illere yapılan günlük otomobil yolculukları



Şekil 4. Trabzon'dan diğer illere yapılan otomobil yolculukları

5. SONUÇLAR

O-D matrislerini tahmin etmek için birçok yöntem kullanılmasına rağmen, trafik bilgilerini, nüfusları ve mesafeleri kullanmakta olan önerilen yöntem, pahalı ve zaman alıcı değildir. Buna ek olarak, elde edilen O-D matrisleri, ilgili trafik bilgilerini, nüfusları ve mesafeleri kullanmak suretiyle, herhangi bir planlama aşaması için, bu yöntemle kolaylıkla güncellenebilir. Önerilen yöntem, iller arası otomobil yolculuklarını tahmin etme hususunda oldukça iyi bir performansa sahip olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışmada, iller arası otomobil yolculukları için uygunluk değeri (r kare değeri) 0,667434 olarak bulunmuş olup, oldukça kabul edilebilir bir düzeydedir. Bu çalışmanın bir diğer önemli katkısı, uygulamada çalışan mühendislerin O-D matrislerinin elde ediliş şeklini anlamalarına yardımcı olmasıdır. Bu çalışma, aynı zamanda onlara, daha iyi planlar yapmaları için kullanabilecekleri yararlı verileri vermektedir. Bundan başka, geliştirilen yöntem, iller arası otomobil taşımasıyla ilgili uzun vadeli politikaları belirlemek için kullanılabilir. Karar vericiler, planlama ve etkin politikaların oluşturulması aşamalarında, uygun bir bilgi sistemine ihtiyaç duyarlar. CBS, bu amaçla kullanılacak etkili bir araçtır. Verileri, tablolar şeklinde dikkate almak yerine, bilgisayar üzerinde coğrafi koordinatlarıyla göz önüne almak ve analiz etmek, kesinlikle daha faydalı ve etkilidir. Bu yüzden, iller arası otomobil yolculukları matrisi, analizleri daha etkin bir

şekilde gerçekleştirmek amacıyla CBS ortamına aktarılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Bell, M.G.H., 1983. The Estimation of Origin-Destination Flows and their Confidence Intervals from Measurements of Link Volumes: a Computer Program, Traffic Engineering and Control 24, 202-205.
2. Bell, M.G.H., 1983. The Estimation of an Origin-Destination Matrix from Traffic Counts, Transportation Science 17, 198-217.
3. Ortuzar, J. de D., Willumsen, L.G., 2011. Modelling Transport (Third Edition), John Wiley and Sons Inc., New York, 607.
4. Robillard, P., 1975. Estimating the O-D Matrix from Observed Link Volumes, Transportation Research 9, 123-128.
5. Hogberg, P., 1976. Estimation of Parameters in Models for Traffic Prediction: a Non-linear Approach, Transportation Research 10, 263-265.
6. LeBlanc, L.J., 1982. Selection of a Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows, Transportation Research (B) 16, 83-88.
7. Wilson, A.G., 1970. Interregional Commodity Flows: Entropy Maximizing Procedures, Geographical Analysis 2, 255-282.
8. Van Zuylen, H.J., Willumsen, L.G., 1980. The Most Likely Trip Matrix Estimated from

- Traffic Counts, Transportation Research (B) 14, 281-293.
9. McNeil, S., Hendrickson, C., 1985. A Note on Alternative Matrix Entry Estimation Techniques, Transportation Research (B) 19, 509-519.
 10. Cascetta, E., 1984. Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: A Generalized Least Squares Estimator, Transportation Research (B) 18, 289-299.
 11. Mahmassani, H.S., Sinha, K., 1981. A Bayesian Updating of Trip Generation Parameters, Journal of Transportation Engineering 107, 581-589.
 12. Yang, H., 1995. Heuristic Algorithms for the Bi-Level Origin-Destination Matrix Estimation Problem, Transportation Research (B) 29, 231-242.
 13. Ashok, K., Ben-Akiva, M.E., 2000. Alternative Approaches for Real-Time Estimation and Prediction of Time-Dependent Origin-Destination Flows, Transportation Science 34(1), 21-36.
 14. Zhou, X., Qin, X., Mahmassani, H.S., 2003. Dynamic Origin-Destination Demand Estimation Using Multi-Day Link Traffic Counts for Planning Applications, Transportation Research Record 1831, 30-38.
 15. Cheung, W.M., Wong, S.C., Tong, C. O., 2006. Estimation of a Time-Dependent Origin-Destination Matrix for Congested Highway Networks, Journal of Advanced Transportation 40, 95-117.
 16. Lu, Z., Rao, W., Wu, Y.J., Guo, L., Xia, J., 2015. A Kalman Filter Approach to Dynamic of Flow Estimation for Urban Road Networks Using Multi-Sensor Data, Journal of Advanced Transportation 49, 210-227.
 17. <http://www.tuik.gov.tr>
 18. <http://www.kgm.gov.tr>
 19. Transport User Guide, 1986. Micro Computer Transportation Planning Package, Halcrow Fox and Associates, London, England.
 20. 2015 Trafik ve Ulaşım Bilgileri, 2016. Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Ankara, Türkiye.
 21. Özdamar, K., 1999. Paket Programlarla İstatistiksel Veri Analizi (İkinci Baskı), Kaan Yayın Evi, Eskişehir, 423-446.
 22. Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri (İkinci Baskı), Secil Ofset, İstanbul, 45-58.
 23. Ulaştırma Ana Planı Stratejisi Sonuç Raporu, 2005. T.C. Ulaştırma Bakanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Uyg-Ar Merkezi, Türkiye.

