

TÜRKİYE İÇİNDE KARAYOLU UZAKLIKLARININ YAKLAŞIK HESABI

İ. Kuban ALTINEL

Doçent Dr.

Boğaziçi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği İstanbul, Türkiye

M. Necati ARAS

Araştırma Görevlisi

Boğaziçi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği İstanbul, Türkiye

Bir bölge içinde, noktalar arasındaki gerçek yol uzaklığını bütün nokta çiftleri için ölçmek her zaman olası olmayabilir. Böyle durumlarda noktalar arası uzaklık nokta koordinatlarının parametrik bir fonksiyonu yardımı ile kestirilebilir ki bu, parametre değerlerinin seçimini gündeme getirir. Bu çalışmada önce ölçekli bir Türkiye haritası üzerinde 28 ile ait koordinat değerleri ve iller arasındaki 378 en kısa gerçek uzaklık ölçülmüş daha sonra da bu veri yardımı ile yaygın olarak uygulanan, ilki nokta koordinatlarına ait farkın L_2 normunu, ikincisi L_p normunu ve üçüncüsü de L_p normunun bir türevini kullanan, üç uzaklık fonksiyonunun parametreleri belli hata ölçütlerini enküçükleyecek şekilde hem tek bölge hem de çok bölge yaklaşım lar kullanılarak belirlenmiştir. Bu uzaklık fonksiyonları her iki yaklaşım için de sağladıkları yaklaşıklamalara göre kıyaslanmışlardır. Ayrıca bu uzaklık fonksiyonlarının kestirim başarımlarına göre yapılan bir karşılaştırması da verilmiştir.

1. AMAÇ

Herhangi bir yerleşim bölgesi ve bu bölgede herhangi iki noktayı göz önüne alalım. Nokta çiftini bağlayan bir yol olduğu varsayımı altında bu yolun uzunluğu bu iki nokta arasındaki gerçek fiziksel uzaklığı verir. Bir bölge içinde noktaların arasındaki gerçek yol uzaklığını her nokta çifti için ölçmek olası olmayabilir. Böyle bir bilgiye gereksinim olduğunda uygulanabilecek bir yöntem söz konusu yöredeki tüm nokta çiftleri ve aralarındaki yollar için geçerli, kolayca elde edilebilen verilerin basit bir fonksiyonu olan, bir

uzaklık fonksiyonu yardımıyla gerçek uzaklıkları yaklaşık olarak hesaplamaktır. Örneğin aralarındaki uzaklığın bilinmesi istenen noktalara ait koordinatlar bir harita yardımıyla kolayca elde edilebilir ve bu koordinatları kullanan bir uzaklık fonksiyonu yardımıyla noktalar arası uzaklığa yaklaşık olarak dönüştürülebilir.

Uzaklık fonksiyonlarının bir diğer önemi de yöneylem araştırması yazınında geniş bir bölüm kaplayan birçok yer seçimi ve dağıtım problemini çözen eniyileme modellerine ait amaç fonksiyonu olmalarından kaynaklanır. Ayrıca, eniyi çözüm de bu fonksiyonu eniyileyen koordinat değerlerinden oluşur. Bu nedenle ülkemizde iki il merkezi arasındaki gerçek yol uzaklığını bu iki noktanın koordinatlarının basit bir fonksiyonu yardımıyla iyi bir yaklaşıklıkla kestirebilmek özellikle taşıma, ulaşım ve yer seçimi ile ilgili sorunların çözümünde sıkça karşılaşılan önemli bir zorluğu ortadan kaldıracaktır.

Ülkemizde yerleşim merkezleri arası uzaklıkların bilinmesinin gerekliliği H. Erkut ve S. Polat'ın İstanbul itfaiye merkezleri (1) ve acil yardım merkezleri (2) üzerine 1992 yılında yayınladıkları iki çalışmada somut olarak belirlemektedir. Bu çalışmalarda yardım merkezi ile yardım çağrısının yapıldığı nokta arasındaki uzaklık, noktaların iki boyutlu kartezyen koordinatlar kullanılarak hesaplanan Öklid uzaklığı yol katsayısı adı verilen bir sabitle çarpılarak kestirilmektedir. Ne var ki İstanbul için güvenilir bir yol katsayısı değeri bilinmediğinden yazarlar bu değeri, benzetiminin üç ana girdi parametresinden birisi olarak seçmişler ve değişik katsayı değerlerine karşılık gelen yardım merkezleri sayılarını benzeticiyi kullanarak belirlemişlerdir.

İstanbul'un yol katsayısının ne olduğu sorusuyla başlayan ve sonucunda kent içinde gerçek yol uzunluklarının yaklaşık hesabı için kullanılabilir uzaklık fonksiyonu öneren ilki 1992 diğerleri 1993 tarihli üç çalışmadan sonra, bkz. (3), (4) ve (5), ayrıntıları ikinci yazarın yüksek lisans tezinde, bkz. (6) bulunan bu çalışmada, Türkiye içinde karayolu uzaklıklarının kestirimi ile ilgili yöntem ve sonuçlar sergilenmeye çalışılmaktadır. Geri kalanında bu sonuçların açıklandığı bu makale beş bölümden oluşmaktadır. Bundan sonraki ikinci bölümde Türkiye içerisinde karayolu uzunluklarını kestirmede kullanılabilecek uygun uzaklık ölçütlerini belirlenmektedir. Üçüncü bölüm bu uzaklık ölçütleri için eniyi parametre değerlerinin belirlenmesinde kullanıma uygun olan kestirim hatası ölçütlerini içermektedir. Dördüncü bölümde uzaklık ölçütlerine ait eniyi parametre değerlerinin hesaplanması ile ilgili ayrıntı ve sonuçları sergilenmektedir. Beşinci ve son bölüm ise sonuçların özetinden oluşmaktadır.

2. TÜRKİYE İÇİN UYGUN KARAYOLU UZAKLIK FONKSİYONLARI

Yer seçimi ve taşımacılık yazınında rastlanan analitik modellerin hemen hemen tümünde noktalar arasındaki yol uzaklığının noktaların koordinatlarının parametrik bir fonksiyonu yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanmakta olduğu görülür. *Uzaklık fonksiyonları* olarak adlandırılan bu fonksiyonlar çoğunlukla düzlemde iki nokta arasındaki uzaklığı yaklaşık olarak ölçmek için kullanılırlar. Ancak daha büyük boyutlu uzaylarda da kullanılmak üzere genelleştirilebilirler.

Karayolu uzaklığının yaklaşık hesabında kullanılan uzaklık fonksiyonlarını kullandıkları koordinatlara göre üç ana küme halinde sınıflandırmak olasıdır. İlk kümeyi oluşturan uzaklık fonksiyonları yeryüzünün küreselliğinin uzaklığa olan katkısını gözönünde bulundurulur ve bu nedenle noktalara ait küresel koordinatların parametrik bir fonksiyonudurlar, bkz. (7) ve (8). Her ne kadar bu ek bilgi kestirimin kesinliğini iyileştirici bir etki yapsa da Love ve Morris bu etkinin önemsenmeyecek kadar küçük olduğunu Amerika Birleşik Devletleri üzerinde yaptıkları deneylerle 1972 tarihli ilk çalışmalarında gösterdiler (7). İkinci küme küresel koordinatlar yerine kutupsal koordinatları kullanan uzaklık fonksiyonlarını içerir, bkz. Perreur ve Thisse (9), Mittal ve Palsule (10). Bu yaklaşımın temelinde yatan gözlem eski yerleşim yörelerinde yol ağının çoğunlukla bir odaktan dağılan bir yapı göstermesidir. Bilineceği üzere planlı şehirciliğin uygulandığı yeni yerleşim bölgelerinde karayolu ağı dikiyataydır. Özetle bu kümedeki ölçütler örümcek ağı yapısı gösteren yol ağlarında uzaklık kestirimi için uygundurlar. Üçüncü kümede ise kartezyen koordinatları kullanan basit norm ya da karma norm tabanlı uzaklık fonksiyonlarıdır. Yer seçimi ve dağıtım problemlerindeki yaygın kullanımları nedeni ile en önemli dört uzaklık fonksiyonu aşağıda sıralanmaktadır, bkz. Love, Morris, Wesolowsky (11) ve Francis, McGinnis, White (12).

$$d_1(x_1, x_2) = k(|x_{11} - x_{21}| + |x_{12} - x_{22}|) \quad [1]$$

$$d_2(x_1, x_2) = k(|x_{11} - x_{21}|^2 + |x_{12} - x_{22}|^2)^{1/2} \quad [2]$$

$$d_3(x_1, x_2) = k(|x_{11} - x_{21}|^p + |x_{12} - x_{22}|^p)^{1/p} \quad [3]$$

$$d_4(x_1, x_2) = k(|x_{11} - x_{21}|^p + |x_{12} - x_{22}|^p)^{1/s} \quad [4]$$

Burada $x_1 = (x_{11}, x_{12})^T$, $x_2 = (x_{21}, x_{22})^T$ aralarındaki karayolu uzaklığını $d_f(x_1, x_2)$ $f = 1, 2, 3, 4$ uzaklık fonksiyonlarını kullanarak kestirmek istediğimiz noktaların düzlemdeki kartezyen koordinatlarını göstermektedir. Parametreler k , p ve s ise iyi yaklaşımlar sağlamak amacıyla kullanılırlar ve yerel özelliklere bağlı olan değerlerinin seçimi kestirimin doğruluğunu etkilemesi açısından çok önemlidir. Bu nedenle k , p ve s parametrelerinin seçim yöntemleri ve seçilen değerler ile [1]-[4] fonksiyonlarından hangisini kullanmanın daha uygun olacağı konularında çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar eniyi ölçütün hangisi olduğu konusunda çelişen sonuçlar içerirler.

Herhangi bir uzaklık ölçütünün uygulamadaki değerini o fonksiyonun sağladığı uzaklık kestirimlerine ait doğruluk belirler. Love ve Morris 1972 ve 1979 yıllarındaki çalışmalarında $d_1(x_1, x_2)$, $d_2(x_1, x_2)$, $d_3(x_1, x_2)$ ve $d_4(x_1, x_2)$ için k , p ve s parametrelerinin eniyi değerlerini Amerika Birleşik Devletleri üzerinde elde ettikleri veriyi kullanarak belirlediler ve bu dört uzaklık fonksiyonunun belirlenen bu değerler ile sağladıkları uzaklık kestirimlerinin doğruluğu açısından karşılaştırdılar. Bu çalışmadaki en önemli sonuç yazarların $d_4(x_1, x_2)$ 'ün az bir farkla $d_3(x_1, x_2)$ 'ü geçerek eniyi kestirici olduğunu gözlemlemeleridir. $d_3(x_1, x_2)$ kestirim doğruluğu açısından ikinci sırada yer almaktadır.

İlk olarak Berens ve Körling'in 1985 yılında birlikte (13) daha sonra da Berens'in 1988 yılında (14) eski Batı Almanya üzerinde yaptığı çalışmalarda ağırlıklı Öklid normu $d_2(x_1, x_2)$ 'nin sağladığı kestirimlerin yeterli doğruluğa sahip olduğu ve ağırlıklı L_p normu $d_3(x_1, x_2)$ 'ü kullanmanın sağladığı iyileştirmenin gerektirdiği hesaplama zahmetine karşılık önemsiz kaldığı sonucuna varıldı. Ancak Love ve Morris 1988 tarihli (15), makalelerinde Batı Almanya'daki 25 önemli ile ait veriyi göz önüne alan benzer bir çalışma yaptılar ve çelişen sonuçlar elde ettiler ki, bunlar $d_3(x_1, x_2)$ 'ün $d_2(x_1, x_2)$ 'den çok daha doğru bir kestirici olduğu iddialarını desteklemektedir. Her ne kadar Berens ve Körling'in ilk bulgularını doğrular nitelikte ise de Berens'in az önce sözünü ettiğimiz çalışması aslında çelişkili sonuçlar içerir; deneyler yalnızca Batı Almanya'ya kısıtlanmayıp farklı 11 Avrupa ülkesine daha yayıldığında $d_3(x_1, x_2)$ 'ün kestirimlerine ait doğruluğun $d_2(x_1, x_2)$ 'nin kestirimlerine ait doğruluktan görece % 0.00 ile % 11.27 arasında daha iyi olduğunu söyler. Bu bağlamdaki son çalışmada ise, Berens ve Körling uzaklık fonksiyonlarına ait eniyi parametre değerlerinin yerel olduğunu ve her yerde aynı doğruluk derecesine sahip genel bir ölçütün ise bulunamayacağını belirterek bu tartışmayı sonuçlandırdılar (16).

Bir de bu üç kümenin herhangi birisinde tam olarak yer almayan uzaklık fonksiyonları vardır. Bunlar genelde son kümeye katılabilirler. Ancak, bu kümedeki diğer ölçütlerden farklı olarak nokta koordinatlarının basit birer fonksiyonu değildirler ve noktalar arası karayolu uzaklığını kestirmede kullanılabilmeleri için bazı ek bilgileri de gerektirirler. Örnek

olarak koordinat eksenlerinin döndürme açısını ve olağan bir yol üzerindeki olası ilerleme yönlerini verebiliriz. Karma norm tabanlı uzaklık fonksiyonlarının temelinde yatan düşünce, iki noktayı birbirine bağlayan bir karayolu üzerindeki ilerlemenin, birisi kuş uçuşu diğeri de dikyatay olan iki temel bileşenin olduğu ve yolun gerçek uzunluğunun bu ikisinin ağırlıklı bileşkesi yardımıyla çok daha iyi modellenebileceğidir. Bu düşünceyle ilk olarak Ward ve Wendell'in 1988'de ağırlıklı bir-sonsuz normunu tanıttıkları çalışmada karşılaşılır (17). Bu çalışmada yazarlar ağırlıklı bir-sonsuz normuyla elde edilen kestirimlerin doğruluğunun ağırlıklı L_p normu ile elde edilen kestirimlerin doğruluğuna çok yakın olduğunu Love ve Morris'e ait A.B.D. verisini kullanarak deneysel olarak gösterdiler. Daha sonra yayınlanan 1985 tarihli çalışmalarında ise bir-sonsuz normunu genelleştirerek kestirim doğruluğunun yollardaki yön vektörlerinin sayısına bağlı olduğu öbek normlar kümesini elde ettiler (18). Yazarlar ayrıca iki parametrelili öbek normunun, ki bu aslında bir-sonsuz normdur, kestirim doğruluğu açısından ağırlıklı L_p normu $d_3(x_1, x_2)$ 'ün gerisinde kalmasına karşın sekiz parametrelili öbek normunun az da olsa $d_3(x_1, x_2)$ 'den iyi olduğunu deneysel olarak gözlemlədiler. Öbek normlarının esas önemi, yer seçimi yazınında sık sık karşılaşılan bazı eniyileme problemlerinin, örneğin minimax yer seçimi probleminin, doğrusal programlama problemine dönüştürülmesine olanak sağlamalarından kaynaklanmaktadır. Ancak bu doğrusal programların boyutları çok kolay büyür. Karma normlar üzerine en yeni çalışmalar ise Brimberg ve Love'a aittir ve her ikisi de 1992 tarihini taşır (19) ve (20). Yazarlar bu çalışmalarda $d_1(x_1, x_2)$ ve $d_2(x_1, x_2)$ 'nin ağırlıklı bileşkesinden oluşan ağırlıklı bir-iki normu adını verdikleri yeni normu $d_3(x_1, x_2)$ yerine kullanmak üzere önerirler.

Ülkemize ait herhangi bir karayolu haritasına göz atıldığında yol ağının dikyatay bir yapı izlemediği görülebilir. Ayrıca yapının tek odaklı bir örümcek ağı gibi olmadığı da açıktır. Bir de Türkiye'nin coğrafi olarak yerkürenin uzaklığa olan etkisini önemli kılacak biçim ve boyuta sahip olmadığı da göz önünde bulundurulursa, yol ağı yapısındaki belirsizliği iyi modelleyen, ve kullanım sırasında koordinatlardan başka veri gerektirmeyen $d_2(x_1, x_2)$, $d_3(x_1, x_2)$ ve $d_4(x_1, x_2)$ uzaklık ölçütlerinin ülkemizde gerçek karayolu uzaklıklarının kestirilmesi için çok uygun olduğu düşüncesine varılır. Bu seçim ayrıca hem Berens ve Körling'in Batı Almanya için geçerli olan, ağırlıklı L_p normunun ağırlıklı L_2 normundan doğruluk açısından belirgin iyi olmadığı ve ikinci uzaklık fonksiyonunun kullanışlılığı nedeni ile ilkinde üstün geldiği savlarının Türkiye üzerindeki geçerliliğini saptamamızı, hem de yaygın olarak kullanılan güvenilir iki uzaklık fonksiyonu $d_3(x_1, x_2)$ ile $d_4(x_1, x_2)$ 'ün parametreleri k , p ve s 'nin ülkemizde aldıkları değerleri belirlememizi sağlayacaktır.

3. TÜRKİYE İÇİN UYGUN KESTİRİM HATA ÖLÇÜTLERİ

Herhangi bir uzaklık ölçütüne ait eniyi parametre değerleri daima kestirim hatasını ölçen önceden belirlenmiş bir hata ölçütünün değerini enküçükleyecek şekilde seçilirler. Parametreleri doğrusal regresyon kullanarak hesaplanan ağırlıklı bir-sonsuz, öbek ve ağırlıklı bir-iki normları dışındaki diğer hata ölçütlerinin parametrelerine ait eniyi değerler ilk olarak Love ve Morris tarafından kullanılmış olan iki kıstasa göre belirlenir.

Bu kıstaslardan ilki aşağıdaki hata ölçütünü enküçüklemektir. Açıkça görüleceği gibi bu ölçüt nokta çiftlerine ait mutlak sapmaların toplamından oluşur.

$$MS_f = \sum_{i \in I} |d_f(x_1^i, x_2^i) - g^i| \quad [5]$$

Toplam mutlak sapma ölçütündeki f dizini kullanılan uzaklık ölçütünü, I dizin kümesi ise nokta çiftlerini gösterir. Böylece (x_1^i, x_2^i) i 'inci nokta çiftine ait koordinatları, g^i ise bu çifti oluşturan noktalar arasında ölçülen gerçek uzaklığı belirler. Toplam ise tüm nokta çiftleri üzerinde alınır. MS_f ölçütü en çok büyük gerçek uzaklıkların küçüklere oranla çok daha doğru kestirimi istendiğinde uygundur. Bu ise mutlak sapmalar yerine yüzde sapmalar ile ilgilenen birisi için ilginç olmayabilir.

İkinci kıstas büyük uzaklıklara değil büyük sapmalara önem verir. Küçük uzaklıkların kestirimlerinin de büyüklerinkiler kadar önemli olduğu düşünüldüğünde daha gerçekçi olduğu kanısına varılacak olan bu kıstas [6] eşitliği ile verilen hata ölçütünü ki bu, düzeltilmiş mutlak sapmalar karelerinin toplamıdır, enküçükleyen parametre değerlerinin kullanılmasını önerir.

$$KS_f = \sum_{i \in I} \left[\frac{d_f(x_1^i, x_2^i) - g^i}{\sqrt{g^i}} \right]^2 \quad [6]$$

Paydadaki $\sqrt{g^i}$ terimi tüm uzaklıklara, büyük küçük ayırımı yapmaksızın, eş değer verilmesini sağlayan duyarlılığı doğurur. f ve i dizinlerinin ve $d_f(x_1^i, x_2^i)$ ile g^i değerlerinin tanımları bir önceki ölçüt ile aynıdır. Toplam yine tüm nokta çiftleri üzerinde alınır. KS_f hata ölçütü ayrıca, değişik uzaklık ölçütlerini karşılaştırmada kullanılan denence sınamlarının tasarlanmasına olanak veren istatistiksel özelliklere sahiptir. Yalnız bu özellikler, Fildes ve

Westwood'un İngiltere için ağırlıklı Öklid uzaklığına ait parametre k 'yı doğrusal regresyon ve bir yitim fonksiyonunun beklenen değerini enküçükleyen eniyileme modelini kullanarak hesapladıkları 1978 tarihli çalışmada (21), ağır eleştiriler altında bırakılan çok güçlü bağımsızlık ve normallik varsayımları altında geçerlidir. Yine aynı çalışmada yazarlar, MS_f 'yi KS_f karşısında savunurlar ve bir uygulamacı için neden daha anlamlı olduğunu da açıklarlar.

Her ne kadar ikisi de anlamlı sezgilerden kaynaklansalar da tutucu bir uygulamacı yalnızca yukarıdaki iki kıstasa göre seçilmiş parametre değerleri ile yetinmeyip bir de olası enbüyük kestirim hatasını enküçükleyen değerler ile ilgilenebilir. Bu nedenle böylesi bir tutuculuğu önceki ölçütlerin özünde yatan sezgilerle birleştiren aşağıdaki iki yeni ölçütün de gözönüne alınması gündeme gelir.

$$MMS_f = \max_{i \in I} \left\{ \left| d_f(x_1^i, x_2^i) - g^i \right| \right\} \quad [7]$$

$$MNMS_f = \max_{i \in I} \left\{ \left| \frac{d_f(x_1^i, x_2^i) - g^i}{\sqrt{g^i}} \right| \right\} \quad [8]$$

Açıktır görüleceği gibi MMS_f hata ölçütü aralarındaki uzaklık enbüyük olan noktalara ait mutlak sapmaya diğerlerine göre daha fazla önem verirken, $MNMS_f$ en fazla önemi enbüyük mutlak sapmaya neden olan noktalara ait düzeltilmiş mutlak sapmaya verir.

Son olarak bu bölümde yaptıklarımızı, bir önceki bölümde karayolu uzaklıklarının kestirimi için uygun oldukları sonucuna vardığımız üç uzaklık ölçütüne ait k , p ve s parametrelerinin eniyi değerlerini belirlemede kullanabileceğimiz ikisi daha iyimser olan dört hata ölçütünü seçmek olarak özetleyebiliriz.

4. TÜRKİYE İÇİN UYGUN PARAMETRE DEĞERLERİ

[2]-[4] eşitlikleri ile verilen $d_2(x_1, x_2)$, $d_3(x_1, x_2)$ ve $d_4(x_1, x_2)$ uzaklık fonksiyonlarına ait k , p ve s parametrelerinin [5]-[8] hata ölçütlerini enküçükleyen değerlerinin seçimi bir dizi eniyileme problemini çözerek gerçekleştirilebilir. Hata ölçütü başına 3 uzaklık ölçütü düştüğü göz önüne alınırsa çözülmesi gereken enküçükleme problemlerinin sayısı 12'dir. Bu

problemlere ait matematik programlama modellerinden $d_4(x_1, x_2)$ için olan dördü bir düşünce vermek isteğiyle aşağıda sunulmaktadır. Diğer 8 model de aynı yapıları içerirler. Tek ayrılıkları $d_3(x_1, x_2)$ için s parametresinin p ile, $d_2(x_1, x_2)$ için de s ve p parametrelerinin 2 ile değiştirilmiş olmasıdır.

$$\min_{k,p,s} \sum_{i=1}^{378} \left| k \left(|x_{11}^i - x_{21}^i|^p + |x_{12}^i - x_{22}^i|^p \right)^{1/s} - g^i \right| \quad [9]$$

$$\min_{k,p,s} \sum_{i=1}^{378} \left[\frac{k \left(|x_{11}^i - x_{21}^i|^p + |x_{12}^i - x_{22}^i|^p \right)^{1/s} - g^i}{\sqrt{g^i}} \right]^2 \quad [10]$$

$$\min_{k,p,s} \max_{1 \leq i \leq 378} \left\{ k \left(|x_{11}^i - x_{21}^i|^p + |x_{12}^i - x_{22}^i|^p \right)^{1/s} - g^i \right\} \quad [11]$$

$$\min_{k,p,s} \max_{1 \leq i \leq 378} \left\{ \frac{k \left(|x_{11}^i - x_{21}^i|^p + |x_{12}^i - x_{22}^i|^p \right)^{1/s} - g^i}{\sqrt{g^i}} \right\} \quad [12]$$

Bu modelleri çözerek k , p ve s değerlerini hesaplayabilmek için gerekli olan koordinat değerleri T. C. Karayolları İdaresinden sağlanan 1/1 700 000 ölçekli harita ile İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Jeodezi Mühendisliği Bölümünden elde edilen 1/2 000 000 ölçekli harita üzerinde ölçüldü. Ölçümler 28 il için yapıldı. Bu toplam olarak $28 \times 27/2 = 378$ nokta çiftine eşit olmaktadır. Veri kümesini oluşturan illerin seçimi tam olarak rassal değildir. Örnek illeri seçerken yol ağını ve coğrafik özelliklerin etkisini belirleyebilecek şekilde ülke yüzeyine yayılmış olmalarına dikkat edildi. Eniyileme modellerinde parametrelerin hesabında kullanılacak olan bu 28 ile ek olarak seçilen 23 il de $d_2(x_1, x_2)$, $d_3(x_1, x_2)$ ve $d_4(x_1, x_2)$ 'ün başarımlarını karşılaştırmak için kullanıldı. Karşılaştırma kümesindeki iller, her bölge için bu bölgedeki iller arasından rassal olarak seçildi. Harita üzerinde santimetre olarak belirlenen koordinatlar daha sonra kilometreye çevrildi ve ölçümlerde Ankara dik kartezyen koordinat sisteminin merkezi olarak alındı. İller arasındaki gerçek uzaklıklar ise 1993 verisini kullanan bir coğrafik bilgi sistemi yardımı ile elde edildi (22). Bu yazılım verilen iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi kilometre olarak kullanıcıya sunar.

Bu modellerde bulunan mutlak değer ve minmax kaynaklı süreksizlikler bilinen teknikler kullanılarak eşdeğer matematik programlar elde edildikten sonra VMS 5.3-1 ortamında çalışan GAMS 2.25 modelleyicisi (23) ve MINOS 5.1 (24) çözücüsü kullanılarak çözüldüler. Elde edilen katsayılar Tablo-1'de görülebilir.

Uzaklık Fonksiyonları	MS_f	KS_f	MMS_f	$MNMS_f$
$d_2(x_1, x_2)$	$k=1.303$	$k=1.310$	$k=1.349$	$k=1.406$
$d_3(x_1, x_2)$	$k=1.246$ $p=1.575$	$k=1.262$ $p=1.603$	$k=1.335$ $p=1.725$	$k=1.364$ $p=1.598$
$d_4(x_1, x_2)$	$k=1.677$ $p=1.673$ $s=1.747$	$k=1.688$ $p=1.686$ $s=1.761$	$k=3.903$ $p=1.866$ $s=2.228$	$k=2.095$ $p=1.884$ $s=2.012$

Tablo-1 Türkiye İçin Eniyi Parametre Değerleri

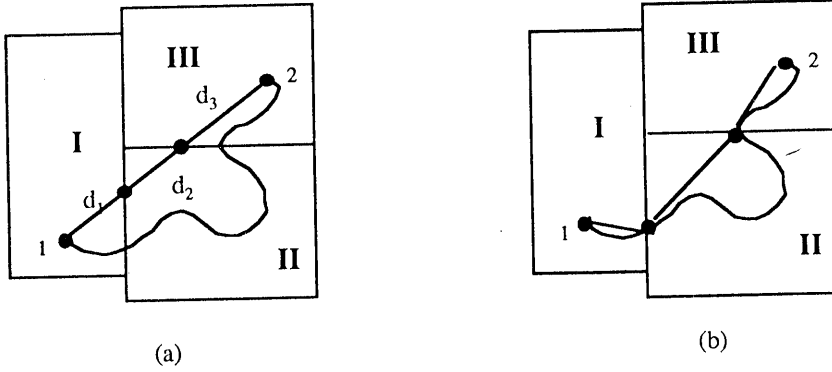
Hata ölçütleri yalnızca en iyi parametre değerlerinin seçimine değil aynı zamanda uzaklık fonksiyonlarının karşılaştırılmasına da yardımcı olurlar. Başka bir deyişle en küçük hata ölçüt değerini veren, yani en küçük amaç fonksiyonu değerini sağlayan uzaklık fonksiyonu diğerlerine üstün olarak nitelenebilir. Aşağıdaki iki karşılaştırma ölçütü değişik uzaklık fonksiyonlarının başarımlarını karşılaştırmak amacıyla yazında sıkça kullanılmışlardır.

$$DMS_{fs} = \frac{(MS_f - MS_g)}{MS_f} \quad [13]$$

$$RMS_f = \frac{MS_f}{\sum_{i \in I} g^i} \quad [14]$$

DMS_{fs} , $d_f(x_1, x_2)$ uzaklık fonksiyonu yerine $d_g(x_1, x_2)$ fonksiyonunu kullanmanın mutlak sapmalar toplamında neden olduğu göreceli ilerlemeyi, $(100 \cdot RMS_f)$ ise $d_f(x_1, x_2)$ uzaklık fonksiyonu kullanıldığında mutlak sapmalar toplamı enküçüklenerek elde edilen uzaklık kestiriminin neden olduğu ortalama mutlak sapmayı belirler. Başka bir deyişle RMS_f , bölgeler arasındaki değişik coğrafi yapı ve yol ağı nedeni ile uzaklıklarda oluşacak farklılıkların etkisini gerçek uzaklıklar toplamına bölerek düzeltir.

Bu aşamaya kadar özetlenen tek bölge yaklaşım bölgelerin yerel özelliklerinin etkisini gözönünde bulundurmamaktadır. Bu etkiyi bir şekilde eniyileme modellerine yansıtmanın yapılacak kestirimlerin iyiliğini arttıracak kesindir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sadece Fildes ve Westwood (21) çok bölge yaklaşım kullanmışlardır. Sözü edilen yaklaşımla bu çalışmadaki yaklaşım arasında şu fark vardır: Ara noktaların ya da bölge geçişlerindeki noktaların yerlerini Fildes ve Westwood yol ağındaki herhangi iki başlangıç ve bitiş noktasını bağlayan düz çizgi üzerinde almışlardır. Bu ise ara bölgelerden bir ya da birkaçının gereksiz yere gözönüne alınmasına yol açabileceği gibi bazı ara bölgelerin de atlanmasına neden olabilir. Örneğin, I. bölgede başlayıp III. bölgede sona eren fakat II. bölgeden geçmeyen bir yolda Fildes ve Westwood ikinci bölgenin etkisini göz önünde bulundururlar. Bu çalışmada kullanılan çok bölge yaklaşım bu sorunu gidermektedir. Her iki yaklaşım Şekil-1'de örneklenmektedir.



Şekil-1 Çok Bölge Yaklaşımlar (a) Fildes ve Westwood (b) Altınel ve Aras

Bu yeni yaklaşımda yukarıda sözü edilen dört hata ölçütü, ara bölgelerin tanımlanması için i dizinine ek olarak bir de j dizinine ve J_i dizin kümesine gereksinim duyarlar. Sonuç olarak bu ölçütler aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:

$$MS_f = \sum_{i \in I} \left| \sum_{j \in J_i} d_f(x_1^{ij}, x_2^{ij}) - g^i \right| \quad [15]$$

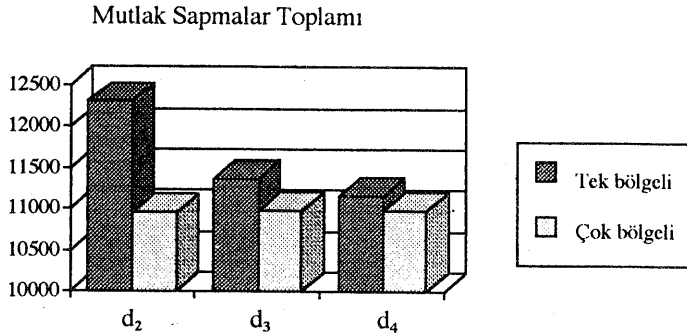
$$KS_f = \sum_{i \in I} \left| \frac{\sum_{j \in J_i} d_f(x_1^{ij}, x_2^{ij}) - g^i}{\sqrt{g^i}} \right|^2 \quad [16]$$

$$MMS_f = \max_{i \in I} \left\{ \left| \sum_{j \in I_i} d_f(x_1^{ij}, x_2^{ij}) - g^i \right| \right\} \quad [17]$$

$$MNMS_f = \max_{i \in I} \left\{ \frac{\left| \sum_{j \in I_i} d_f(x_1^{ij}, x_2^{ij}) - g^i \right|}{\sqrt{g^i}} \right\} \quad [18]$$

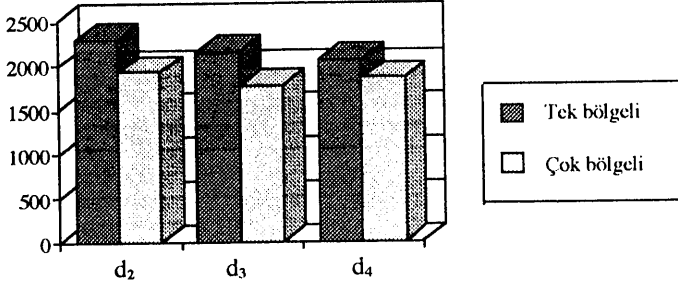
Burada, $d_f(x_1^{ij}, x_2^{ij})$ i 'inci nokta çiftine ait yolda j 'inci ara bölgede kalan mesafenin kestirilen f 'inci uzaklık ölçütü ile kestirilen değerini verir.

Çok bölgeli yaklaşımda da benzer yapıda eniyileme modelleri elde edilir. Bu modellerin çözümü sonucunda da her bir coğrafi bölge için parametre değerleri bulunmuştur. Bütün bu değerleri tablolar yerine şekiller ile özetlemek anlaşılabilirlik açısından çok daha iyi olacaktır. Şekil-2 ve Şekil-3 tek ve çok bölgeli yaklaşımların kestirimleri ne şekilde etkilediğini göstermektedir. Şekil-4 ve Şekil-5 ise sırasıyla MS_f ve KS_f hata ölçütleri için uzaklık fonksiyonlarının başarımını kıyaslamaktadır.



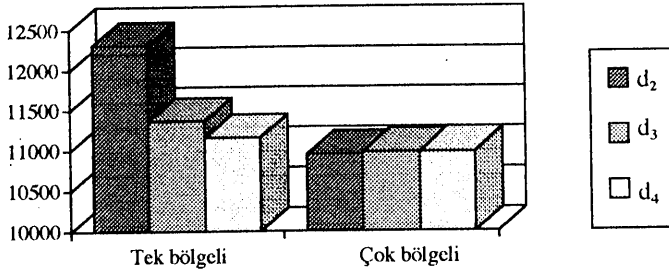
Şekil-2 Tek ve Çok Bölgeli Yaklaşımların Kıyaslanması

Karesel Sapmalar Toplamı



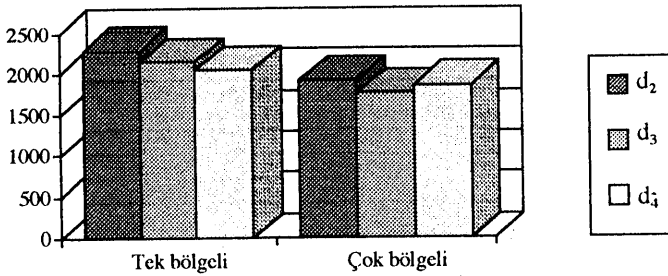
Şekil-3 Tek ve Çok Bölge Yaklaşımların Kıyaslanması

Mutlak Sapmalar Toplamı



Şekil-4 Uzaklık Fonksiyonlarının Kıyaslanması

Karesel Sapmalar Toplamı



Şekil-5 Uzaklık Fonksiyonlarının Kıyaslanması

Yukarıdaki ilk iki şekilden de görülebileceği gibi çok bölge yaklaşım tek bölge yaklaşıma göre daha iyi kestirimler sağlamaktadır. Kestirimlerdeki iyileşme miktarı isc hata ölçütüne göre değişmektedir. Hangi uzaklık fonksiyonunun kestirimlerde daha iyi sonuç

verdiği ise son iki şekilden çıkarılabilir. Mutlak hatalar toplamı ve düzeltilmiş karesel hatalar toplamına göre eniyi kestirimi $d_4(x_1, x_2)$ sağlar. Sıralamada $d_3(x_1, x_2)$ ikinci, $d_2(x_1, x_2)$ ise sonuncu olur. En büyük mutlak hata enküçüklenmek isteniyorsa yine $d_4(x_1, x_2)$ en iyi gözükmetedir. Düzeltilmiş mutlak sapma ise kullanıcıya $d_2(x_1, x_2)$ 'i, yani Öklid uzaklık fonksiyonunu kullanmayı öğütlemektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye içindeki karayolu uzaklıkların yaklaşık olarak hesaplanmasında yararlı olacağına inandığımız, ayrıntıları önceki bölümlerde sergilenen kullanılabilir sonuçlar elde ettik. Bu sonuçlardan ilkine göre koordinatları bilinen iki nokta arasındaki ana yolun uzunluğunu Türkiye içinde hesaplamak için [2], [3] ve [4] ile ifade edilen üç uzaklık fonksiyonundan birisini kullanmanın uygun olduğudur.

Uzaklık ölçütlerinin hangisinin daha iyi olduğu sorusu ise kullanılan kestirim kıstasına göre değişmektedir. Mutlak hatalar toplamı ve düzeltilmiş karesel hatalar toplamına göre en iyi kestirimi $d_4(x_1, x_2)$ sağlar. Bu sıralamada $d_3(x_1, x_2)$ az bir farkla ikinci, $d_2(x_1, x_2)$ ise sonuncu olur. Özetle kullanıcı eğer noktalar arasındaki uzaklığa önem veriyorsa ve uzak noktaların arasındaki karayolu uzunluğunu kestirmenin neden olacağı hatanın yakın noktalarda oluşacak hatadan daha önemli olduğuna inanıyorsa, $d_4(x_1, x_2)$ 'ü kullanmalıdır. Ancak $d_3(x_1, x_2)$ de fena bir seçim değildir. Aynı seçim kullanıcının verdiği önem noktalar arası uzaklıktan noktalar arasındaki hataya geçtiğinde de uygundur. Buna karşılık gerekli olan bilgisayar emek açısından ölçütler enazdan ençoğa doğru dizildiklerinde uygunluk sırası tersine döner. Kullanıcı enbüyük mutlak hatayı enküçüklemek istiyorsa, yani bir hayli tutucu ise, yine $d_4(x_1, x_2)$ 'ü kullanması yerinde olur. Ancak bu kez $d_4(x_1, x_2)$, $d_3(x_1, x_2)$ 'den açık farkla daha iyidir. Son hata ölçütü olan düzeltilmiş mutlak sapma ise çok ilginç olarak kullanıcıya ağırlıklı Öklid uzaklığı $d_2(x_1, x_2)$ 'yi kullanmayı öğütler.

Love ve Morris'in daha öncede sözünü ettiğimiz konunun temel makalelerini oluşturan 1972 ve 1979 tarihli çalışmalarındaki önemli kuramsal bir sonuç $d_3(x_1, x_2)$ uzaklık ölçütünün $k > 0$ ve $p \geq 1$ için; $d_4(x_1, x_2)$ uzaklık ölçütünün $k > 0$, $p \geq 1$ ve $p/s \geq 1$ için noktaların koordinatlarını belirleyen (x_1, x_2) vektörünün dışbükey bir fonksiyonu olduğunu tanıtlamalarıdır. Türkiye için elde edilen k , p ve s parametreleri yerlerine konulduğunda $d_3(x_1, x_2)$ 'in kesinlikle, $d_4(x_1, x_2)$ 'in ise yaklaşık olarak dışbükey oldukları görülmektedir. Yer seçimi problemlerinde çözülmesi gereken eniyileme modelinin amaç fonksiyonu bir

uzaklık ölçütünün değişkenlerini oluşturan nokta koordinatlarının fonksiyonudur. Aşağıdaki Weber problemi buna bir örnek olarak verilebilir:

$$\min_{x,y} W(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i d_i(x,y) \quad [13]$$

Bu fonksiyonun Türkiye verisi üzerinde dışbükey olması bu tür eniyileme modelleri için birinci derece gerekli eniyileme koşullarını sağlayan koordinatların ülke için genel en iyi çözüm olduğunu garantiler.

Son sonuç ise Ginsburgh ve Hansen'e ait (25) eski bir çalışmanın Türkiye için uygulanabilir hale gelmesidir. Bu çalışmada yazarlar hatalı uzaklık ölçümlerinden verinin arınabilmesi için bir yöntem önerirler; $e(x_1, x_2)$ iki şehir arasındaki Öklid uzaklığı olmak koşulu ile herhangi bir ölçüm düz bölgelerde $[e(x_1, x_2), 1.3e(x_1, x_2)]$ aralığında, dağlık bölgelerde ise $[1.1e(x_1, x_2), 1.5e(x_1, x_2)]$ aralığında değilse ve/veya kullanılan uzaklık ölçütüne bağlı olarak düz bölgelerde $[0.85d_f(x_1, x_2), 1.15d_f(x_1, x_2)]$ aralıklarından, dağlık bölgelerde ise $[0.8d_f(x_1, x_2), 1.2d_f(x_1, x_2)]$ aralıklarından birisinin dışında ise hatalıdır ve göz ardı edilmelidir. f dizini kullanılan uzaklık fonksiyonunu göstermektedir. Bu sonuç ve belirlediğimiz uzaklık fonksiyonları bir araya konunca Türkiye içinde yapılan gerçek yol ölçümlerindeki hatalı değerler kümeyi oluşturan verilerin bu aralıklara düşüp düşmediğini inceleyerek kolaylıkla ayıklanabilecektir.

Son olarak belirtilmesi gereken nokta aralarındaki uzaklık kestirilecek olan yerleşim merkezi çiftlerinin düzlemdeki koordinatlarının kullanılmasının Türkiye için yeterli olduğudur. Karayollarından alınan veriler kullanılarak gerçekleştirilen 1994 tarihli bir çalışmada il merkezlerindeki yüksekliğin kestirimin doğruluğuna hemen hemen hiç etki etmediği deneysel olarak saptanmıştır (26).

KAYNAKLAR

- 1- ERKUT H., ve POLAT S., "A Simulation Model for a Urban Fire Fighting System", *Omega*, No: 20, sf. 535 - 542, 1992.
- 2- ERKUT H., ve POLAT S., "Acil Servis Sistemleri Performans Analizi İçin Simülasyon Modelleri : İtfaiye İçin Bir Örnek Model", A. Kaylan, T. Ören (editörler), Benzetimde İlerlemler '92 Sempozyum Bildirileri, İstanbul, 1992.

- 3- ALTINEL İ. K., SANVER M. R., CENGİZ M. ve BÜYÜKÖNOL H., "İstanbul İçin Yol Katsayısı", Araştırma Raporları Serisi No: FBE-IE-09/92-12, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1992.
- 4- ALTINEL İ. K., AKBAŞ H., ARIK Y., SANVER M. R., ve ZEYREK, Ö., "İstanbul İçin Yol Katsayıları", YA/EM '93 Sempozyum Bildirileri, İstanbul, 1993.
- 5- ALTINEL İ. K., ARAS N., ARIK Y., SANVER M. R., ve ZEYREK, Ö., "İstanbul Kenti İçinde Yol Uzunluklarının Yaklaşık Hesabı", Araştırma Raporları Serisi No: FBE-IE-10/93-12, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1993.
- 6- ARAS N., "Estimating Actual Road Distances in İstanbul and Türkiye", Yüksek Lisans Tezi, Department of Industrial Engineering, Boğaziçi University, İstanbul, 1994.
- 7- LOVE R. F. ve MORRIS J. G., "Modeling Inter-City Road Distances by Mathematical Functions", Operational Research Quarterly, No: 23, sf. 61-71, 1972.
- 8- LOVE R. F. ve MORRIS J. G., "Mathematical Models of Road Travel Distances", Management Sciences, No: 25, sf. 130-139, 1979.
- 9- PERREUR J. ve THISSE J., "Central Metrics and Optimal Location", Journal of Regional Science, No: 14, sf. 411-421, 1974.
- 10- MITTAL A. K. ve PALSULE V., "Facilities Location with Ring Radial Distances", Institute of Industrial Engineers Transactions, No: 16, sf. 59-64, 1984.
- 11- LOVE R. F. MORRIS, J. G., ve WESOŁOWSKY, J., Facilities Location: Models and Methods, North - Holland, New York, 1988.
- 12- FRANCIS R. L. McGINNIS L. F. Jr., ve WHITE J. A., Facility Layout and Location: An Analytical Approach, 2nd edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992.
- 13- BERENS W. ve KÖRLING F., "Estimating Road Distances by Mathematical Functions", European Journal of Operational Research, No: 21, sf. 54-56, 1985.
- 14- BERENS W., "The Suitability of the Weighted L_p -norm in Estimating Actual Road Distances", *European Journal of Operational Research*, No: 34, sf. 39-43, 1988.
- 15- LOVE R. F. ve MORRIS J. G., "On Estimating Road Distances by Mathematical Functions", *European Journal of Operational Research*, No: 36, sf. 251-253, 1988.
- 16- BERENS W. ve KÖRLING F., "On Estimating Road Distances by Mathematical Functions-A Rejoinder", European Journal of Operational Research, No: 36, sf. 254-255, 1988.
- 17- WARD J. E. ve WENDELL R. E., "A New Norm Measuring Distance Which Yields Linear Location Problems", Operations Research, No: 28, sf. 836-844, 1980.
- 18- WARD J. E. ve WENDELL R. E., "Using Block Norms for Location Modeling", Operations Research, No: 33, sf. 1074-1091, 1985.

- 19- BRIMBERG J. ve LOVE R. F., "A New Distance Function for Modeling Travel Distances in a Transportation Network", *Transportation Science*, No: 26, sf. 129-137, 1992.
- 20- BRIMBERG J. ve WESOLOWSKY G. O., "Probabilistic L_p Distances in Location Models", *Annals of Operations Research*, No: 40, sf. 67-75, 1992.
- 21- FILDES R. A. ve WESTWOOD J. B., "The Development of Linear Distance Functions for Distribution Analysis", *Journal of the Operational Research Society*, No: 29, sf. 585-592, 1978.
- 22- AND Software , ANDROUTE, Version 2.0 , AND Software B. V., The Netherlands, 1993.
- 23- BROOKE A., KENDRICK D. ve MEERAUS A., GAMS, Release 2.25, A User's Guide, The Scientific Press, San Francisco, 1992.
- 24- MURTAGH B. A. ve SAUNDERS M. A., "MINOS 5.1 User's Guide", Technical Report No : SOL 83 - 20R, Stanford University, Stanford, 1987.
- 25- GINSBURGH V. ve HANSEN P., "Procedures for the Reduction of Errors in Road Network Data", *Operational Research Quarterly*, No: 25, sf. 321-322, 1974.
- 26- ALTINEL İ. K., ARAS N., ALİE A., CANGÜR G., ÖZEL R. ve YÜCEL A., Estimating Road Travel Distances in Türkiye, Research Paper Series No: FBE-IE-03/94-03, Department of Industrial Engineering, Boğaziçi University, İstanbul, 1994.