

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı

Kadir AKGÖL¹
Banihan GÜNAY²

ÖZ

Kentiçi yol ağları üzerinde herhangi iki noktayı birbirine bağlayan bir güzergahın biçimsel düzgünlüğünü bir kalite göstergesi olarak kullanan rasyonellik kavramı son yıllarda yeni bir araştırma sahası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada şehirlerin yol ağı rasyonelliklerinin ölçülmesinde kullanılan güzergah rasyonellik ölçekleri için Monte Carlo tabanlı alternatif bir yöntem önerilmiştir. Böylece mevcut yaklaşımlara tüm dünyada uygulanabilir bir form kazandırılmış ve yöntem daha verimli bir hale getirilmiştir. Analizler, oluşturulan bir yazılım yardımıyla Google Maps'ten otomatik olarak veri çekerek gerçekleştirilmiştir. Yazılım için rastgele nokta seçimi, en büyük üçgenler ve homojen dağılım algoritmaları oluşturulmuştur. Son olarak, önerilen yöntemin bir uygulaması Ankara kentinde test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yol ağı geometrisi, rasyonellik değerlendirmesi, Google Maps, güzergah.

ABSTRACT

The Use of the Monte Carlo Method for the Rationality Calculations of Urban Road Networks

The concept of rationality, which uses the layouts of the routes connecting pairs of points on an urban road network as a quality indicator, has been a new research field in recent years. In this study, a new, Monte Carlo based, method is proposed for measuring the rationality of road networks. By improving the scales that were developed earlier by previous work, the applications of the route rationality scales on various types of road networks of various sizes became possible. This was achieved by writing a piece of software which is capable of accessing Google Maps and retrieving huge amounts of location and route data for very fast computations. The technique used three algorithms, i.e. random point selection, the greatest triangles, and the homogeneous dispersion. Finally, an application of the method is tested in Ankara.

Keywords: Network geometry, rationality evaluation, Google Maps, route.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 06.07.2015 günü ulaşmıştır. 18.04.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.345376

1 Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - kadirakgol@akdeniz.edu.tr

2 Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - banihangunay@akdeniz.edu.tr

1. GİRİŞ

Yol ağı tasarımları, ulaşırmada en zorlayıcı problemlerden birisidir [1]. Kentsel alanlarda bu problemlerin üstesinden gelebilmek ve ulaşım sistemlerinin daha verimli yönetilmesini sağlayabilmek için ağ topolojisi ve operasyonel yönetimin geliştirilmesi gerekmektedir [2]. Kentsel tasarım ve planlamada mekânsal kalite son derece önemli bir konudur [3]. Ulaşım problemlerine getirilen öneriler bu kalitenin sınırları içinde çözüm üretmekte, yani kullanıcıya şehrin yol ağının elverdiği ölçüde fayda sağlamaktadır. Örneğin hiç trafiğin olmadığı bir saatte bile, evinden iş yerine giden bir kişi kuş uçuşu mesafesi “ d ” km olan iki nokta arasında “ $d+x$ ” km mesafe katederek gidiyorsa bu kişinin “ x ” değerinin büyüklüğüyle orantılı bir ulaşım problemi var demektir. İkinci olarak, bu iki nokta arasında yapılan seyahat için minimum yolculuk süresi ve üçüncü olarak, bu noktalar arasındaki alternatif bağlantıların bulunma ya da bulunmama durumu da birer ulaşım problemidir. Özellikle çarpık kentleşmenin görüldüğü ülkelerde kentsel dönüşüm süreçlerinde bu problem dikkate alınarak çözüm üretilmelidir. Aynı durum ilk defa yol ağı oluşturulan bölgeler için de geçerlidir. Chen vd.’e göre [4] yeni bir yerleşim yerinin oluşum sürecinde, yol yapımında ilgili standartlara başvurulsa da bilimsel ve etkili bir yol ağının kalitesini belirlemede eksiklikler vardır.

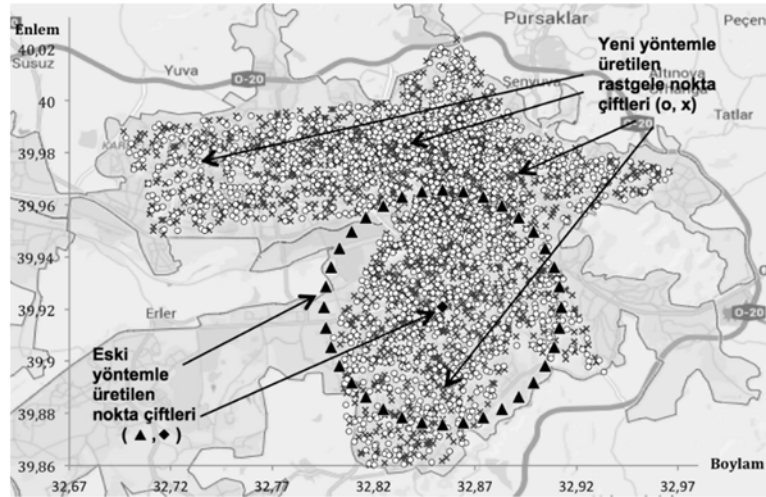
Yol ağları, boyutu, yapısı, yoğunluğu ve çeşitli işlevlerine bağlı olarak farklı kombinasyonlarda planlanmalıdır [5]. Hükümetler kısıtlı imkanlar çerçevesinde yol ağları planlamakta ve yol ağlarının geliştirilmesi için dikkatli seçimler yapmak zorunda kalmaktadır [6]. Hükümetlerin en iyi yatırım kararlarından biri yol ağlarının iyileştirilmesidir [7], fakat mevcut ya da iyileştirme yapılan yol ağlarının kalitesini ölçecek, planlanan yol ağları arasında seçim yapma imkanı verecek bir yöntemle sahip değildir. Burada yol ağlarının kalitesinin ölçülmesi ve güzergahların “rasyonelliği” kavramı ortaya çıkmaktadır. Bir güzergahın rasyonelliğinden bahsedebilmek için bu güzergahın bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Güzergah ideal olarak bize en kısa mesafeli, en hızlı ve bu güzergaha alternatif güzergahların bol olduğu bir yolculuğu sunmalıdır [8-10].

Akgöl ve Günay [11] daha önceki bir çalışmada güzergah rasyonellik ölçeklerini oluşturmuş ve yol ağlarının rasyonelliğini sayısal olarak ölçecek bir yöntem geliştirmiştir. Bu sayede istenilen güzergahların farklı kriterlere göre rasyonellikleri hesaplanabilmektedir. Yine aynı çalışmada güzergah rasyonellik ölçekleriyle yol ağlarının rasyonelliğini hesaplayabilmek için yol ağı üzerinde nokta çifti belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Daha sonra bu nokta çiftleri arasında Google Maps’i kullanarak (el ile teker teker) güzergah hesabı yapmış, güzergahların rasyonelliklerini her bir kriter için belirlemiş ve ortalamalarını alarak şehirlerin yol ağı rasyonelliklerini kıyaslamıştır. Ancak nokta çifti belirlemek için oluşturulan bu yöntemle yol ağının tamamını kapsayan bir analiz her zaman yapılamamaktadır. Sadece bir dairenin üzerindeki noktalardan şehir merkezine ve merkezden bu noktalara gidip gelen yol güzergahları çalışılabilir. Bu çalışmada ise güzergah rasyonellik ölçeklerinin uygulanabilirliğini arttıracak alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem ile Google Maps’ten veri çekilerek her türlü yol ağını kapsayacak şekilde analiz yapılabilmektedir. Ayrıca daha fazla veri üretilerek temsil kabiliyeti daha yüksek sonuçlar elde edilmektedir. Örnek olması bakımından Ankara kenti için yöntemin uygulaması yapılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Geliştirilen Alternatif Yöntemin Altyapısı

Mevcut güzergah rasyonellik ölçekleriyle bir şehirde rasyonellik ölçümü yapabilmek için öncelikle şehrin yol ağı üzerinde belirli sayıda nokta çifti belirlenmekte ve nokta çiftleri arasındaki güzergahlar herhangi bir dijital harita uygulamasında hesaplanmaktadır. Sonra bu haritadan elde edilen verilerle, bu güzergahlara ait rasyonellikler hesaplanmaktadır. Son olarak ise bu değerlerin ortalaması alınmaktadır. Bir önceki bölümde de değinildiği gibi [11] bu nokta çiftlerini belirleyebilmek için sistematik nokta seçimi yöntemi hali hazırda geliştirilmiştir. Bu yöntemle şehir merkezinde bir nokta belirlenmekte, bu nokta merkez kabul edilerek bir çember oluşturulmakta ve çemberin üzerinde eşit aralıkta 36 adet nokta seçilmektedir (*Şekil 1*).



Şekil 1. Yol ağı üzerinde eski [11] ve yeni yöntemle üretilen nokta çiftleri

Eski yöntemle Google Maps'te merkez nokta ile çevre noktalar arasında gidiş ve geliş olarak toplam 72 güzergah hesabı yapılmaktadır. Rasyonellik hesapları ise bu güzergahlar için Google Maps'in verdiği yolculuk mesafesi, süresi ve alternatif sayısı verilerine göre yapılmaktadır. Hesaplanan bu güzergahlara ait rasyonellik ortalamaları, şehrin yol ağı rasyonelliğini vermektedir fakat bu yöntem ile şehrin tamamını kapsayan bir ölçüm yapılamamaktadır. Bu da analizin o şehri temsil kabiliyetini azaltmaktadır. Bu çalışmada ise yol ağı üzerinde nokta çifti üretimi için yeni bir yöntem geliştirilerek, şehrin tamamını temsil edebilecek bir analiz yapılması sağlanmıştır (bkz. *Şekil 1*). Böylece rasyonellik analizleri yapılırken sadece gerçek yolculuklara ait güzergahlar değil şehrin tamamını kapsayan rastgele güzergahlar üretilmiştir. Çünkü yol ağının tamamı üzerinde mevcut durumda olmasa bile gelecekte yolculuk yapılması potansiyeli vardır.

Geliştirilen bu yeni teknik ile nokta çiftleri yol ağı üzerinde Monte Carlo yöntemine göre rastgele seçilmektedir. Böylece yeterli sayıda nokta çifti üretildiğinde yol ağı üzerinde homojen olarak dağılmış ve şehrin tamamını kapsayan güzergahlar elde edilebilmektedir.

Üretilen her bir güzergahla birlikte güzergahın rasyonellik değeri de hesaplanmaktadır. İteratif işlem içerisinde bir sonraki güzergah hesaplandığında hem güzergahın rasyonelliği hem de önceki tüm güzergahlarla beraber rasyonellik ortalaması belirlenmektedir. Böylece rasyonellik değerleri kümülatif olarak hesaplanmakta ve son hesaplanan ortalama, aynı zamanda yol ağının rasyonellik değerini vermektedir. Güzergah sayısı arttıkça kümülatif olarak hesaplanan rasyonellik değerlerindeki değişim miktarı azalmaktadır. Yol ağı üzerinde üretilen nokta çiftlerinin yeterli sayıya ulaşip ulaşmadığına karar verebilmek için kümülatif olarak ortalaması alınan son 1000 değer incelenmiştir. Bu değerlerdeki değişim miktarı %0,5'in altında kalana kadar iterasyon devam ettirilmiştir. Bu durumda son 1000 güzergah, kümülatif olarak hesaplanan rasyonellik değerini %0,5 arttırmıyor ya da %0,5 azaltmıyorsa güzergah üretme işlemi ve analiz sonlandırılmıştır. 1000 olarak belirlenen bu sayıya yapılan analizlerde deneme yanılmalar sonucu ulaşılmıştır. Denemeler son 200 güzergah olarak başlamış, bu sayı yeterli olamamıştır. 200 güzergahtan sonrasında rasyonellik değerindeki değişim miktarının yine %0,5'ten fazla olduğu görülmüş olup son 800 güzergahlı denemelere ulaşıldığında rasyonellik değerindeki değişimin artık çok fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Güvenli tarafta kalmak için bu sayı 1000 olarak seçilmiştir.

2.2. Nokta Çiftlerinin Üretimi

Bir şehrin yol ağı içerisinde homojen olarak dağılmış nokta çiftlerini üretebilmek için kullanılan Monte Carlo yönteminde '0' ile '1' arasında rastgele ve homojen dağılımda sayılar üretilebilmekte fakat uygulanabilmesi için programlama gerekmektedir [12]. '0' ile '1' arasında üretilen rastgele bir sayıdan yola çıkarak koordinat değeri bilinen herhangi iki nokta arasındaki rastgele nokta seçimi için (1) ve (2) nolu denklemler geliştirilmiştir.

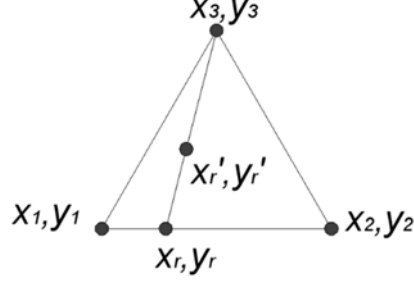
$$x_r = (x_2 - x_1) \cdot rand + x_1 \quad (1)$$

$$y_r = (y_2 - y_1) \cdot rand + y_1 \quad (2)$$

Burada,

- $rand$: rastgele üretilen sayı (0, 1),
- x_i, y_i : i 'inci noktanın koordinat değeri,
- x_r, y_r : rastgele seçilen noktanın koordinat değeridir.

Ancak üretilmek istenilen noktanın, bir doğru parçası üzerinde değil bir geometrik şeklin içinde kalması gerekmektedir. Dolayısıyla geliştirilen bu yeni yöntemin eklenecek ilave adımlarla desteklenmesi gerekmektedir. Bunun için en büyük üçgenler yöntemi geliştirilmiştir. Rastgele üretilen nokta çiftlerinin tüm yol ağını kapsayan ve yol ağının dışına çıkmayan bir şekilde seçilebilmesi için öncelikle bir üçgenin içinde rastgele noktanın nasıl üretileceği incelenmiştir. Bu durum iki aşamalı bir şekilde çözülmüştür. İlk aşama üçgenin tabanında bulunan iki köşegen arasında kalan rastgele bir nokta üretmek, ikinci aşama ise rastgele üretilen bu nokta ile üçgenin diğer köşegeni arasında kalan yeni bir rastgele nokta üretmek olmuştur (*Şekil 2*). Bir üçgenin içinde rastgele noktalar üretebilmek için (3), (4), (5) ve (6) nolu işlem adımları takip edilmiştir.



Şekil 2. Üçgen içinde seçilen rastgele nokta

$$x_r = (x_2 - x_1) \cdot rand_1 + x_1 \quad (3)$$

$$y_r = (y_2 - y_1) \cdot rand_1 + y_1 \quad (4)$$

$$x_r' = (x_r - x_3) \cdot rand_2 + x_3 \quad (5)$$

$$y_r' = (y_r - y_3) \cdot rand_2 + y_3 \quad (6)$$

Burada;

$rand_i$: rastgele üretilen i 'inci sayı,

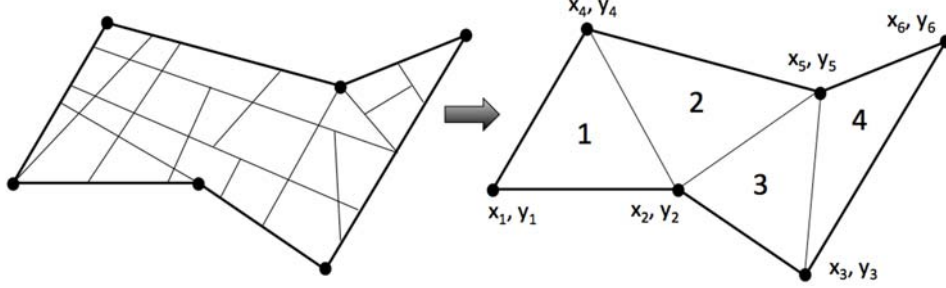
x_i, y_i : i 'inci köşegenin koordinat değeri,

x_r, y_r : taban kenarı üzerinde rastgele seçilen noktanın koordinat değeri ve

x_r', y_r' : üçgenin içinde rastgele seçilen noktanın koordinat değeridir.

Üçgenin içinde üretilen rastgele nokta elde etme yöntemi yol ağının geometrisine uyarlanmıştır. Yani sadece üçgenin değil farklı geometrik şekillerin de içinde kalan noktalar üretilmiştir. Örnek olarak Şekil 3'te verilen bir yol ağı ele alınacak olursa en dışta kalan çizgiler yol ağının sınırını yani içerisinde nokta üretilecek geometrik şekli vermektedir. Şekil mümkün olan en büyük üçgenlere bölünmüştür. Burada önemli olan tüm yol ağının üçgen parçalarına bölünmesi ve bu üçgenlerin köşe koordinatlarının belirlenmesidir. Bölünecek üçgen sayısının en az sayıda tutulması yapılacak işlemlerin sadece sayısını azaltacak, sonuçları etkilemeyecektir. Örneğin Şekil 3'te sadece 4 üçgen için işlem yapılmıştır. (x_i, y_i) değerleri köşe noktaların koordinat değerleridir.

Ayrıca rastgele nokta seçimi ve en büyük üçgenler yöntemleriyle üretilen noktaların yol ağı üzerinde homojen olarak dağılması sağlanmalıdır. Bunun için üçgenlere bölünmüş bir yol ağında hangi üçgenin içinde kaç nokta üretileceği belirlenmelidir. Örneğin alanları eşit olan üçgenlere bölünmüş bir yol ağında, bazı üçgenlerin içinde 100, diğerlerinde ise 10'ar nokta üretilmiş olması yol ağının geneline bakınca bir homojenlik oluşturmaz. Bunun için oluşturulan üçgenlerin alanlarına bağlı bir katsayı yöntemi geliştirilmiştir. Katsayılar her üçgen için (7) nolu işlem adımıyla üretilmektedir. Bu işlem adımı her üçgen için bir kez yapıldıktan sonra, her üçgene ait bir katsayı elde edilmiştir.



Şekil 3. Örnek bir yol ağı ve yol ağı geometrisinin en büyük üçgenlere bölünmesi

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^j (A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)} \quad (7)$$

Burada;

D_j : j 'inci üçgenin katsayısı,

A_j : j 'inci üçgenin alanı ve

n : oluşturulan üçgen sayısıdır.

Daha sonra, elde edilmek istenen nokta sayısı kadar rastgele sayı üretilmiştir. Son olarak, üretilen rastgele sayıların elde edilen katsayılarından büyüklük küçüklük durumu (8), (9) ve (10) nolu işlem adımlarında sınanmıştır. Bu sınamaya ile nokta çiftleri, alanlarına bağlı olarak üçgenlere dağıtılmıştır. Burada *rand*, '0' ile '1' arasında üretilen rastgele bir sayıdır.

$$rand < D_1 \quad \rightarrow 1 \text{ nolu üçgen} \quad (8)$$

$$D_{j-1} < rand < D_j \quad \rightarrow j \text{ nolu üçgen} \quad (9)$$

$$D_{n-1} < rand \quad \rightarrow n \text{ nolu üçgen} \quad (10)$$

2.3. Verilerin Elde Edilmesi

Verilerin elde edilebilmesi için Java programlama dili kullanılarak Google Maps ile entegre çalışan bir yazılım geliştirilmiştir. Bu programla ilk olarak bir şehrin yol ağı üzerinde kalacak nokta çiftleri üretilmesi sağlanmıştır. Sonra bu nokta çiftleri arasında Google Maps uygulamasında güzergah hesabı yaptırılmış ve bir nokta çifti arasında kaç alternatif güzergah bulunduğu, bu güzergahlara ait yolculuk mesafesi ve yolculuk süresi verileri uygulamadan otomatik olarak çekilmiştir. Nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler ise navigasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan, enlem ve boylama göre trigonometriyi kullanarak gemi ve uçakların yerlerinin belirlenmesine yarayan Haversine formülü ile hesaplanmıştır [13, 14]. Bu formül aşağıdaki şekilde düzenlenerek (11) rasyonellik analizi için gerekli tüm veriler elde edilmiştir.

$$r = 2 \cdot R \cdot \sin^{-1} \sqrt{\sin^2 \left(\frac{x_2 - x_1}{2} \right) + \cos(x_1) \cdot \cos(x_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{y_2 - y_1}{2} \right)} \quad (11)$$

Burada,

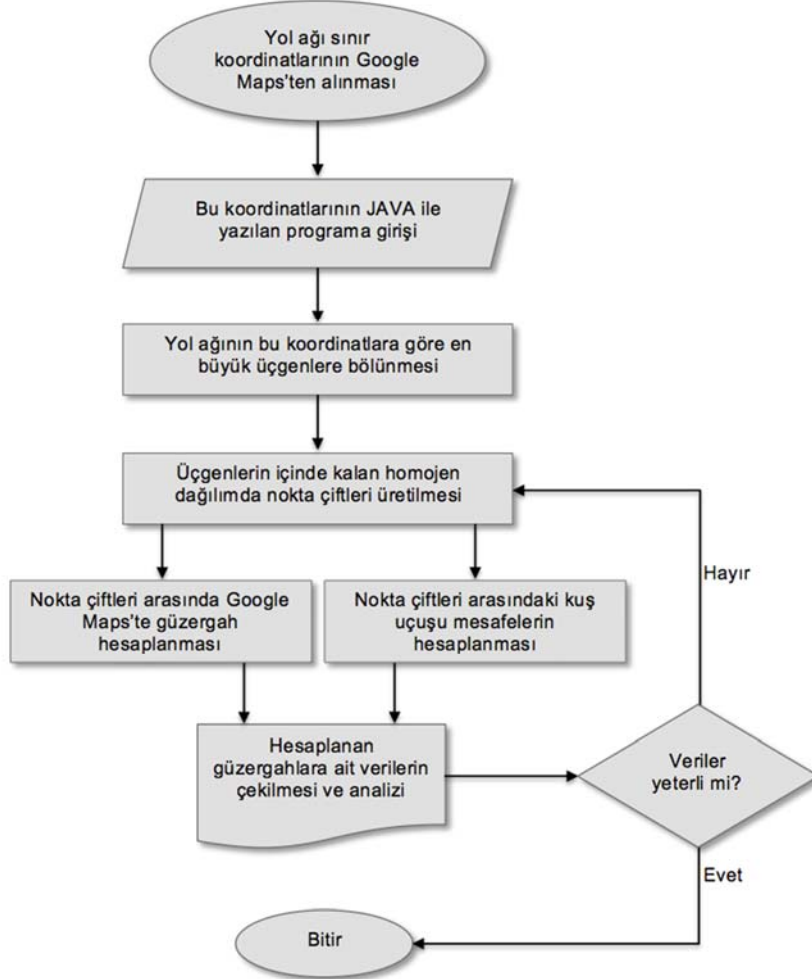
x_i : i 'inci noktanın enlemi (x koordinatı),

y_i : i 'inci noktanın boylamı (y koordinatı),

r : (x_1, y_1) başlangıç noktası ile (x_2, y_2) bitiş noktası arasındaki kuş uçuşu mesafe,

R : Dünyanın yarıçapıdır.

Analiz adımlarının daha iyi anlaşılması için yapılan işin akış şeması Şekil 4'te verilmiştir. Yazılımın arayüzü ve ürettiği Excel çıktısı ise Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Monte Carlo tabanlı rasyonellik analizi akış şeması

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı

Sıra	x1	y1	x2	y2	Km1	Dk1	Km2	Dk2	Km3	Dk3	Alt	Mesafe	Rasyonellik	K. Rasyonellik
1	39.9857489	32.7168476	39.9802144	32.8522413	22.2	25	17.4	26	19.9	27	3	11.5523278	1.921690624	1.921690624
2	39.9880125	32.7919471	39.9994089	32.8637294	7.6	19	8.6	19	10.1	21	3	6.24501972	1.216969735	1.56933018
3	39.9291319	32.8423												
4	39.8886918	32.8263												
5	39.9835351	32.8632												
6	39.8817091	32.8062												
7	39.9521287	32.8955												
8	39.9606607	32.8539												
9	39.9755923	32.7987												
10	39.9775099	32.742												
11	39.9789908	32.8589												
12	39.9063781	32.8637												
13	39.9873627	32.7885												
14	39.911932	32.9082												
15	39.9729213	32.8532												
16	39.9550211	32.8518												
17	39.9693674	32.8354												
18	39.9095467	32.8780												
19	39.90414	32.8328												
20	39.9840248	32.7225												
21	39.9785915	32.8542												
22	39.9619624	32.8808												
23	40.0037565	32.8673												
24	39.9790553	32.7565												
25	39.9899084	32.8657												
26	39.9843446	32.8839												
27	39.9784642	32.8289												
28	39.9660314	32.907371	39.9083323	32.8719718	10	20	10.1	22	0	0	2	7.09038141	1.410361364	1.483882413
29	39.9580803	32.8514116	39.9662645	32.8595188	2.2	3	1.9	4	0	0	2	1.1426445	1.925358241	1.499086407
30	39.9786278	32.8077575	39.9591115	32.7409731	9.2	18	9.9	19	11.3	19	3	6.09110063	1.510400263	1.499463535

Sınır Koordinatları

Şehir : Merkez :

1. (x, y) : 2. (x, y) :

3. (x, y) : 4. (x, y) :

5. (x, y) : 6. (x, y) :

7. (x, y) : 8. (x, y) :

9. (x, y) : 10. (x, y) :

11. (x, y) : 12. (x, y) :

13. (x, y) : 14. (x, y) :

Satır : Radyal : Hesapla

Şekil 5. Java programlama dilinde geliştirilen programın arayüzü ve ürettiği Excel çıktısı

2.4. Rasyonellik Kriterleri

Güzergah rasyonellik ölçekleri üç kriterden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, kuş uçuşu mesafe kriteridir. İki nokta arasındaki kuş uçuşu mesafe ile en kısa yolu veren güzergahın uzunluğu bu güzergahın rasyonelliği hakkında bilgi verecektir. Güzergahın uzunluğunun kuş uçuşu mesafeye oranı en ideal durumda 1,0'dir. Bu kriter göre, belirlenen nokta çifti arasındaki güzergah mesafesinin (d), yine bu nokta çifti arasındaki kuş uçuşu mesafeye oranının (r) 1,0'e yakın çıkması istenir. Bu değer iki farklı uzunluğun oranından elde edildiği için birimsizdir.

İkinci kriter ise ortalama hız kriteridir. Yol ağlarındaki tüm yolların aynı standartlarda olması mümkün değildir. Bu durumda aynı uzunluğa ve kuş uçuşu mesafeye sahip iki farklı güzergah için yolculuk süreleri farklı olabilir. Bu da yolculuk süresinin yol ağlarının rasyonelliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Burada asıl etken ise güzergahta yapılabilecek ortalama hız değeridir. Bu çalışmada güzergahlarda yapılan ortalama hızlar, yolculuk mesafesi ve süresine göre "km/sa" cinsinden hesaplanmıştır. Farklı güzergahlar için hesaplanan ortalama hız değerlerinden büyük olanı bu kriter göre o güzergahın daha rasyonel olduğu anlamına gelir.

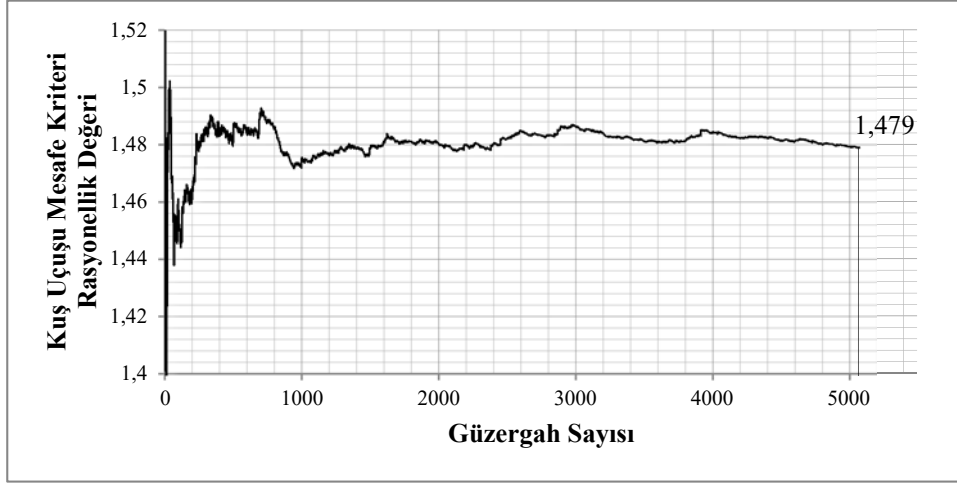
Bir yol ağının rasyonelliği mesafe, süre ve hız gibi faktörlerin yanı sıra iki nokta arasında bulunan alternatif güzergahların sayısı da ilgilidir. Trafik tıkanıklığı ya da yol üzerinde yapılan bir çalışmanın olması durumlarında, iki nokta arasında alternatif güzergahların bulunması önem kazanmaktadır. Bu yüzden son kriter alternatif güzergah kriteri olarak belirlenmiştir. Bu kriter için üretilen nokta çiftleri arasındaki alternatif güzergahların sayıları tespit edilmektedir. Kıyaslanan güzergahlar arasında hesaplanan değerlerin büyük çıkması bu kriter göre o güzergahın daha rasyonel olduğunu gösterir [11]. Google Maps uygulaması en fazla 3 alternatif güzergah önerdiği için bu kriter göre elde edilen değerlerin 3'e yakın

çıkması istenir. Bu üç kriter için gerekli olan veriler Google Maps'ten iki nokta arasında yol tarifi olarak elde edilebilmektedir.

Bu kriterler yol ağının bize sunduğu hizmet kalitesinin ölçülmesi açısından önemlidir. Böylece bir şehrin yol ağının hangi bölgelerinde iyileştirmeler yapılması gerektiği ya da alternatif yollara ihtiyaç duyulacağı gibi sorulara cevap bulunabilecektir. Yine daha geniş açıdan bakıldığında yatırım yapılması gereken şehirlerin belirlenmesinde de bir öncelik sıralaması yapılabilecektir.

3. ÖRNEK UYGULAMA

Örnek uygulama için Ankara kentinin seçildiği çalışmada ilk olarak şehrin yol ağı sınırlarını veren koordinat değerleri Google Maps'te belirlenmiştir. Bu koordinat değerleri geliştirilen programa girilerek çok sayıda rastgele nokta çifti oluşturulmuştur. Bu nokta çiftleri arasında Google Maps aracılığıyla güzergahlar hesaplanmış, bu güzergahlara ait veriler çekilmiş ve kuş uçuşu mesafeler hesaplanmıştır (üretilen nokta çiftlerinin dağılımı için bkz. Şekil 1). Böylece belirlenen üç kritere göre rasyonellik hesaplarına geçilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi kuş uçuşu mesafe kriterine göre rasyonellik değeri 1,479 çıkmıştır. Grafikten okunan son değer aynı zamanda yol ağının rasyonellik değerini vermektedir. Verilerin standart sapması 0,337; varyasyon katsayısı 0,228; çarpıklık katsayısı 68,98; basıklık katsayısı ise 5,53 çıkmıştır. Verilerin pozitif değerlere doğru genişlemekte ve görece dik bir dağılıma sahiptir.

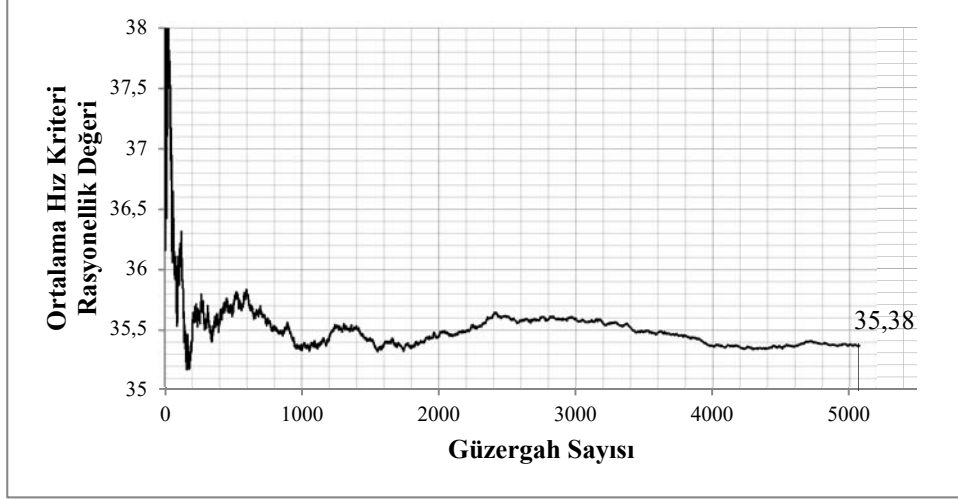


Şekil 6. Kuş uçuşu mesafe kriterine göre rasyonellik

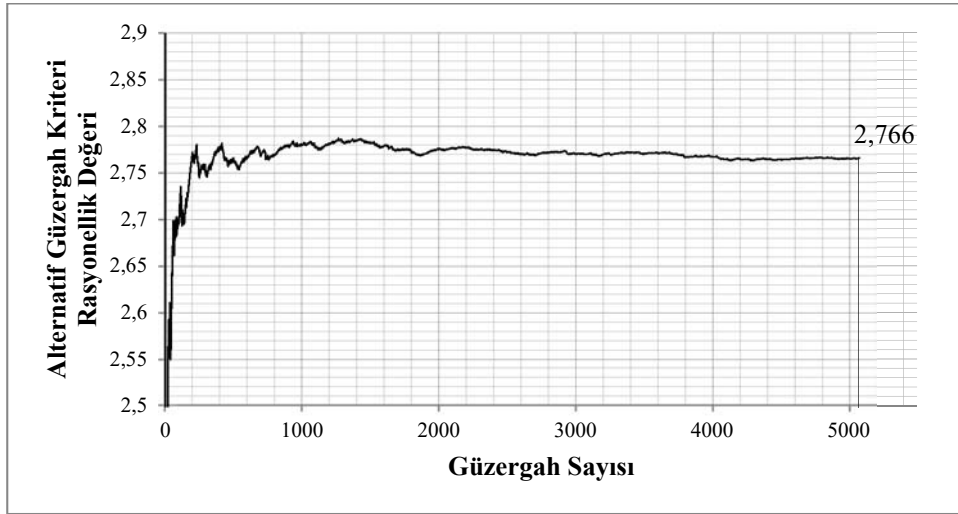
Ortalama hız kriteri için Şekil 7 incelendiğinde yol ağında yapılabilen ortalama hızın 35,38 km/sa olduğu görülmektedir. Standart sapma 0,303; varyasyon katsayısı 0,008; çarpıklık katsayısı 1503,29; basıklık katsayısı ise 29,56 çıkmıştır. Verilerin pozitif değerlere doğru genişleyen ve görece dik bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Alternatif güzergah kriteri için ise rasyonellik Şekil 8'de görüldüğü üzere 2,766 çıkmıştır. Verilerin standart sapması

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı

0,027; varyasyon katsayısı 0,01; çarpıklık katsayısı 243,38; basıklık katsayısı ise -13,36 çıkmıştır. Veriler pozitif değerlere doğru genişlediği ve dağılımın ise diğerlerinden farklı olarak görece düz olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Ortalama hız kriterine göre rasyonellik

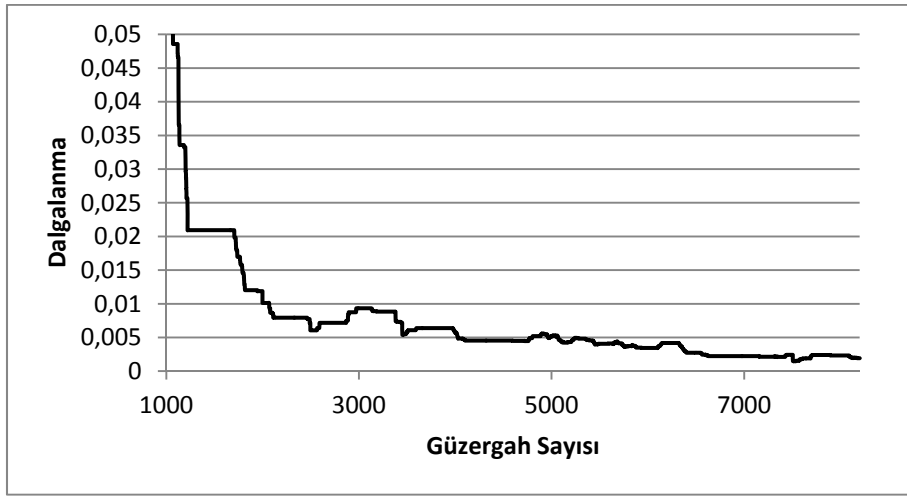


Şekil 8. Alternatif güzergah kriterine göre rasyonellik

Bu üç kriter için yapılan analiz 5070'inci güzergahta sonlandırılmıştır. Bunun nedeni Bölüm 2.1'de açıklandığı üzere kuş uçuşu mesafe kriteri için oluşturulan rasyonellik grafiğinde 4070'inci güzergahtan sonraki 1000 güzergah için rasyonellik değerindeki dalgalanmanın

%0,5'in altında kalmış olmasıdır. Diğer kriterler için bu dalgalanma daha erken %0,5'in altında kalmış olsa da kuş uçuşu mesafe kriteri için veri üretilmeye devam etmiştir. Üretilen veriler diğer kriterler için de kullanılmıştır. Böylece bu kriterlere ait grafiklerdeki dalgalanmalar %0,5'in çok daha altına düşmüş ve güven aralığı son iki kriter için artmıştır.

Meydana gelen dalgalanmaların 5070'inci güzergahtan sonra nasıl devam edeceğini görmek için bir süre daha (8200'üncü güzergaha kadar) analiz devam ettirilmiştir. Bu test iterasyonda kötüye gitme olup olmadığını görmek adına bir defaya mahsus yapılmıştır. Şekil 9'da görüldüğü gibi dalgalanma 5070'inci güzergaha kadar %0,5 üstündedir. Grafikte %0,5'lik dilime yaklaştıkça dalgalanma azalmakta ve grafik daha durağan bir hal almaktadır. Güzergah sayısı 8200'e yaklaştığında ise dalgalanma %0,2'lere kadar düşmektedir.



Şekil 9. Rasyonellik değerlerindeki dalgalanmanın güzergah sayısına göre değişimi

5. SONUÇ

Güzergah rasyonellik ölçekleri, yol ağlarının kalitesini ölçmek için geliştirilmiş yeni bir yöntemdir. Bu çalışmada güzergah rasyonellik hesabı için var olan üç ölçek kullanılarak alternatif bir yöntem oluşturulmuştur. Böylece mevcut yöntem daha verimli bir hale getirilerek tüm dünyada uygulanabilir bir form almıştır. El ile yapılan analizler geliştirilen bir program yardımıyla daha kısa sürede yapılmış, insandan kaynaklanacak hatalar sıfıra indirgenmiş ve çok daha fazla veri üretilmiştir. Yine bu yöntemle, programlamadan da faydalanılarak farklı geometrik özelliklere sahip yol ağlarında rasyonellik analizi yapılabilme şansı elde edilmiştir. Hepsinden önemlisi veriler Google Maps'ten otomatik olarak çekilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Kümülatif rasyonellik değerlerindeki dalgalanma %0,5'in altında kalana kadar iterasyon sürdürülmüştür. Bu da analiz sonuçlarının istatistiki olarak %99,5 güven aralığında kalmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada örnek olarak Ankara kentinde bir uygulama yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre rasyonellik değeri kuş uçuşu mesafe kriteri için 1,479; ortalama hız kriteri için 35,38; alternatif güzergah kriteri için ise 2,766 çıkmıştır. Analizler bu örnek için 5070 güzergahın

rasyonellik değeri ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Güzergah sayısı artırıldığında kümülatif olarak hesaplanan rasyonellik değerlerindeki dalgalanmaların da azaldığı, 5070 güzergah için dalgalanmanın %0,5'in altına düştüğü bulunmuştur. Araştırmanın bundan sonraki aşamasında yöntem birçok şehirde uygulanacak, bu şehirlerin yol ağı rasyonellikleri kıyaslanacaktır. Yine farklı şehirlerde yapılacak rasyonellik analizleri incelenerek rasyonellik sınır değerleri oluşturulacak ve bir şehrin yol ağının rasyonel olup olmadığına doğrudan karar verilebilecektir.

Bu yöntemle ilk defa bir sayısal analiz yöntemiyle yetkililer tarafından yol ağlarına yapılacak yatırımlarda, hangi şehirlere ve hangi yol ağı tiplerine öncelik verilmesi gerektiği ya da yapılacak alternatif planlardan hangisinin daha verimli olacağı tespit edilebilir hale gelmiştir. Özellikle Türkiye gibi kentsel dönüşümün gündemde olduğu ülkelerde yeni yapılan şebeke planlamalarının bu analize tabi tutulması, şehrin yol ağı rasyonelliğini arttıracaktır. Böylece yolculuklar açısından zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabilecektir. Ayrıca iki farklı kente ait yol ağları birbirleri ile kolayca kıyaslanabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Yang, H., Bell, M. G. H., Models and algorithms for road network design: a review and some new developments, *Transport Reviews*, 18, 257-278, 1998.
- [2] Badia, H., Estrada, M., Robusté, F., Competitive transit network design in cities with radial street patterns, *Transportation Research Part B: Methodological*, 59, 161-181, 2014.
- [3] Khan, A. Z., Moulaert, F., Schreurs, J., Miciukiewicz, K., Integrative Spatial Quality: A Relational Epistemology of Space and Transdisciplinarity in Urban Design and Planning, *Journal of Urban Design*, 19, 393-411, 2014.
- [4] Chen, K., Wang, J. J., Han, F., Qiu, L. P., The Research of New City Road Network Level Structure Based on Supply and Demand Balance, *Applied Mechanics and Materials*, 178, 1857-1861, 2012.
- [5] Marshall, S., *Urban pattern specification*, Institute of Community Studies, London, 2005.
- [6] Szeto, W., Lo, H. K., Strategies for road network design over time: robustness under uncertainty, *Transportmetrica*, 1, 47-63, 2005.
- [7] Santos, B. F., Antunes, A. P., Miller, E. J., Interurban road network planning model with accessibility and robustness objectives, *Transportation Planning and Technology*, 33, 297-313, 2010.
- [8] Chen, A., Yang, H., Lo, H. K., Tang, W. H., Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results, *Transportation Research Part B: Methodological*, 36, 225-252, 2002.
- [9] Jakimavičius, M., Mačerinskiene, A., A GIS-based modelling of vehicles rational routes, *Journal of Civil Engineering and Management*, 12, 303-309, 2006.

- [10] Murat, Y. Ş., Uludağ, N., Bulanık mantık ve lojistik regresyon yöntemleri ile ulaşım ağlarında rota seçim davranışının modellenmesi, *Teknik Dergi*, 19, 2008.
- [11] Akgöl, K., Günay, B., Şehiriçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalaları, 10. Ulaştırma Kongresi, İzmir, Türkiye, 2013.
- [12] Niederreiter, H., Random number generation and quasi-Monte Carlo methods 63: SIAM, 1992.
- [13] Robusto, C., The cosine-haversine formula, *American Mathematical Monthly*, 38-40, 1957.
- [14] Chopde, N. R., Nichat, M., Landmark Based Shortest Path Detection by Using A* and Haversine Formula, *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1, 298-302, 2013.

