# Şehiriçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalaları

**Kadir Akgöl, Banihan Günay**
Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, 07058 ANTALYA
Tel: (242) 310 63 18
E-Posta: banihangunay@akdeniz.edu.tr

## Öz

Bu bildiride, şehiriçi ulaşımda kullanılan yolculuk güzergahlarının geometrik açıdan ne derece makul olduklarını belirleyebilmek amacıyla yol ağlarının rasyonelliğini ölçecek skalalar oluşturulmuştur. Bu skalalar kuş uçuşu mesafe, ortalama hız, alternatif güzergah ve açısal sapma kriterleri olarak dört grupta incelenmiştir. Ayrıca bu skalalarının hepsini bir arada değerlendirebilmek için ortak bir rasyonellik skalası oluşturulmuştur. Böylece farklı şehirler arasında kıyaslama yapılabilecektir. Bu skalalar Google Maps uygulaması kullanılarak dünya üzerinde 15 şehirde (İstanbul Asya ve Avrupa olarak iki şehir kabul edilmiştir) uygulanmış ve bu şehirlere ait yol ağlarının farklı kriterlerdeki rasyonelliklere göre sıralamaları yapılmıştır.

***Anahtar sözcükler***: Şehir planlaması, en kısa yol, Google Maps, yol ağı geometrisi, kentsel dönüşüm

## Giriş

Hemen hemen herkesin hayatının bir parçası olan şehiriçi ulaşımı gün geçtikçe büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Zamana karşı olan yarış, şehiriçi yol ağının[1] hizmet sunabilme yeteneğine verilen önemi arttırmıştır. Her gün insanlar bu yol ağı üzerinde bir noktadan diğerine gideceklerinde yolculuk süresi ve yolculuk uzunluğu kriterlerini göz önüne alarak kendileri için en uygun güzergahı[2] seçme problemiyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Fakat her zaman arzu edilen yolculuk süresini (ya da uzunluğunu) veren güzergahlar elde edilemeyebilmektedir. Özellikle ülkemizde ideal güzergahların her zaman elde edilemeyişinin sebebi; kentlerimizin hemen hepsinin plansız büyümesidir diyebiliriz. Fiziki planlama (nazım plan) ile uyumlu ulaşım planları olmadığı için ulaşım altyapıları bir plana bağlı olmaksızın, birbirinden kopuk olarak yani parçacı bir yaklaşım ile oluşturulmaktadır (Ulaştırma Ana Planı Stratejisi Raporu, 2005). Ayrıca arazi kullanımı-ulaşım ilişkisi kurulmadan yatırım kararları alınmaktadır. Doğru olanı, arazi kullanımındaki bir değişikliğin ulaşım sistemini nasıl etkileyeceğinin modeller yardımı ile belirlenip kararların buna göre alınmasıdır. Birkaç büyük kentimizde hazırlatılan ulaşım ana planları belirli aralıklarla

[1] Bu bildiride yol ağı terimiyle sadece karayolu ağı kastedilmektedir.

[2] Bu bildiride geçen güzergah kelimesiyle karayolu tasarımında kullanılan geçki anlamı değil, şehiriçi yol ağı üzerinde seçilen iki nokta arasında ulaşımı sağlayan ve izlenmesi gereken yol kastedilmektedir.

yenilenmediği (güncelleştirilmediği) için geçerliliğini yitirmektedirler. Dolayısıyla farklı şehirlerin, kullanıcılara yol ağlarının durumu açısından, farklı seviyelerde güzergah hizmeti sunduğunu söylemek mümkündür. Bu seviyenin ölçümüyle ilgili bir çalışma henüz yapılmamıştır.

Devlet planlama teşkilatının 2001 yılındaki "Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu" ve "Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu" raporlarında ülkemizdeki şehiriçi yol ağlarının çok iyi bir durumda olmadığı belirtilmektedir (DPT 2001a, DPT 2001b). TÜBİTAK'ın "Vizyon 2023" raporunda ise şehiriçi yol ağlarımızın geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmasının gerekliliğinden bahsedilmektedir. Marshall (2005)'e göre yol ağları şehrin boyutuna, yapısına, yoğunluğuna ve çeşitli kentsel işlevlerine göre farklı kombinasyonlarda planlanmalıdır. Fakat bu planlamalarla ilgili yol ağlarının hizmet kalitesini ortaya koyan ölçümlerde bulunulmamıştır. The Depertment of Urban & Regional Planning UCD & Oscar Faber Transportation (2007)'e göre yol ağlarının daha kaliteli bir hizmet vermesi için radyal yol ağı modellerine ihtiyaç vardır. Ayrıca yol ağlarının alternatif güzergahlar sunabiliyor olmaları önem taşımaktadır. Chen (2000)'e göre yol ağlarının performansıyla ilgili yapılacak çalışmalarda yol ağının sunduğu güzergahların yolculuk sürelerinin değerlendirilmesinin yararlı olacağı belirtmektedir.

Yolculuk mesafesi baz alındığında (trafiksiz), iki nokta arasındaki en ideal yol bu iki noktayı birleştiren doğru parçasıdır. Yani arzu edilen yol hiç sapmadan, istenilen noktaya ulaştıran yoldur. Bu durum gerçek hayatta özellikle mesafeler arttıkça neredeyse imkansız hale gelir. Ancak iki nokta arasındaki güzergahın uzunluğunun bu iki noktayı birleştiren kuş uçuşu mesafeye mümkün olduğunca yakın olması istenir. Bu da bildirimizde rasyonellik kavramını oluşturan kriterlerden ilki olacaktır. İki farklı güzergah kıyaslanırken, güzergahın uzunluğunun kuş uçuşu mesafesine oranı 1'e yakın olan ya da en küçük değeri veren güzergah daha rasyonel kabul edilecektir.

Bir güzergahın rasyonelliğine o güzergahın sadece mesafesine bakarak karar verilemez. Yolculuk süresi de benzer şekilde etkilidir. Çünkü aynı mesafedeki iki güzergahtan daha kısa yolculuk süresi verenin tercih edilmesi mantıklı olacaktır. Bu da güzergahtaki yapılabilecek ortalama hız limitleriyle ilgilidir. Ayrıca iki nokta arasındaki güzergah alternatiflerinin sayısı ve bu alternatiflerin uzunlukları da güzergahın rasyonelliği üzerinde bir etkendir. Tüm bu etkenler bu çalışma kapsamında incelenecektir. Dolayısıyla çalışmanın ana amacı, şehiriçi yol ağı üzerinde sistematik seçilen belirli noktalar arasında, Google Maps uygulamasının önerdiği en kısa yolculuk sürelerini veren güzergahların rasyonelliğini tespit etmek adına, güzergahın gerçek uzunluğu ile kuş uçuşu mesafesi, güzergahın gerçek uzunluğu ve yolculuk süresi, aynı noktalar arasındaki ikinci ve üçüncü güzergah alternatifleri mevcudiyeti gibi kriterleri ölçebilecek skalalar oluşturmaktır.

## Skala Kriterlerinin Oluşturulması

### Kuş uçuşu mesafe (KUM) kriteri

Şehiriçi yol ağında trafiğin olmadığı ve tüm yolların aynı standartlarda olduğu varsayıldığında bu yol ağında belirlenen iki nokta arasındaki ulaşımın, en kısa mesafeye sahip güzergah ile sağlanması idealdir. İki nokta arasındaki en kısa mesafe

bu noktaları birleştiren doğru parçasıdır. Fakat şehiriçi yol ağında mesafeler arttıkça bu şekilde bir güzergah oluşturmak pek mümkün değildir. Dolayısıyla oluşturulan güzergahın mesafesinin bu iki nokta arasında çizilen doğru parçasının uzunluğuna mümkün olduğunca yakın olması istenir. İki nokta arasındaki doğru parçasının uzunluğuna kuş uçuşu mesafe dersek, kuş uçuşu mesafe ile bu iki nokta arasındaki en kısa yolu veren güzergahın uzunluğu arasındaki ilişki, bu güzergahın rasyonelliği hakkında bilgi verecektir. Güzergahın uzunluğunun kuş uçuşu mesafeden daha kısa olması söz konusu değildir. En iyi ihtimal eşit olmalarıdır. Yani güzergahın mesafesinin kuş uçuşu mesafeye oranı en ideal durumda '1' dir. Bu durumda farklı nokta çiftleri arasında hesaplanan en kısa güzergah mesafesi ile kuş uçuşu mesafesi oranları kıyaslandığında küçük olan yani '1' e yakın olan daha rasyoneldir denir. Şehiriçi yol ağında seçilen farklı nokta çiftleri arasındaki $\frac{\text{Güzergah Uzunluğu } (d)}{\text{Kuş Uçuşu Mesafe } (r)}$ oranları hesaplanarak güzergahlar birbirleriyle rasyonellik açısından kıyaslanabilmektedir. Hesaplanan *d/r* oranlarının ortalamaları şehrin kuş uçuşu mesafe kriterine göre rasyonellik değerini verecektir.

**Ortalama hız (OH) kriteri**

Yol ağlarındaki tüm yolların aynı standartlarda olması mümkün değildir. Farklı standart ve fonksiyonlardaki yollar farklı hız limitlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Güzergah üzerinde bulunan kavşak sayısı ve mevcut trafikte ortalama hızı ve yolculuk sürelerini etkilemektedir. Bu durumda aynı güzergah uzunluğuna ve kuş uçuşu mesafeye sahip iki farklı güzergah için yolculuk süreleri farklı olabilir. Bu da yolculuk süresinin güzergahların dolayısıyla yol ağlarının rasyonelliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Burada asıl etken ise güzergahta yapılabilecek ortalama hız değeridir. Bir güzergahın uzunluğu ve yolculuk süresi biliniyorsa $\frac{\text{Güzergah Uzunluğu } (d)}{\text{Yolculuk süresi } (t)}$ formülü ile güzergahın ortalama hız değeri elde edilir. Hesaplanan tüm güzergahlar için *d/t* oranlarının ortalamaları yol ağı için ortalama bir hız değeri verecektir.

**Alternatif güzergah (AG) kriteri**

Bir güzergahın rasyonelliği mesafe, süre ve hız gibi faktörlerin yanı sıra iki nokta arasında bulunan alternatif güzergahların sayısıyla da ilgili olmalıdır. Çünkü trafik tıkanıklığı ya da yol üzerinde yapılan bir çalışmanın olması durumlarında iki nokta arasında alternatif güzergahların bulunması önem kazanmaktadır. Bu durumda hesaplanan tüm güzergahlar için alternatif sayılarının toplamı bir yol ağının kalitesini kıyaslama imkanı sağlamaktadır. Google Maps uygulaması bir nokta çifti için en fazla üç alternatif sunabilmektedir. Bu yüzden analizlerde $\frac{\text{Alternatif sayısı}}{3}$ değerinin 1'e yakın olması daha rasyonel anlamına gelecektir.

**Açısal sapma (AS) kriteri**

İki nokta arasında oluşturulan en kısa güzergahlarda bile gidilmesi istenilen istikametten saparak farklı yönlere doğru ilerlemeler söz konusu olabilmektedir. Güzergahta meydana gelen asıl hedef doğrultusundan açısal sapmalar ve bu doğrultularda gidilen mesafe, o güzergahın kalitesi hakkında fikir verebilmektedir. Bu durumu incelemek için Açısal Sapma kriteri oluşturulmuştur. İki nokta arasındaki güzergahın mesafesi ikiye bölünüp bir ikizkenar üçgenin ikiz kenarlarını, kuş uçuşu

mesafe ise taban kenarını oluşturacak şekilde çizilen bir üçgende tabanda bulunan açı güzergah mesafesiyle orantılıdır. Güzergahın mesafesi arttıkça bu açının değeri de artacak, güzergah mesafesi ve kuş uçuşu mesafe aynı oranda artarsa açı sabit kalacaktır. Dolayısıyla bu açı azaldıkça güzergahın rasyonelliği artmış olacaktır. Taban açısı ' $\emptyset = 0$' olduğunda güzergahın mesafesi ve kuş uçuşu mesafesi eşitlenecektir. Bu da kuş uçuşu mesafe kriterindeki *d/r* oranının '1' e eşit olması demektir. Açısal sapma kriteri için düşünülen bu yöntemi güzergahın mesafesine bağlı olduğu için kuş uçuşu mesafe kriteriyle aynı sonuçları verecektir. Bu yüzden açısal sapma kriteri bu bildiride rasyonellik kriterleri kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Sadece buradaki tanımla yetinilecektir. Açısal sapma kriterinde '$\emptyset$' taban açısının hesaplanabilmesi formül (1), bu kriterin kuş uçuşu mesafe kriterine dönüştürülebilmesi için (2) denklemi oluşturulmuştur. Buna benzer bir formülasyon toplu ulaşım ağları için Raveau ve diğerleri (2012) tarafından da önerilmiştir.

$$\tan \emptyset = \sqrt{\frac{d^2 - r^2}{r^2}} \qquad \rightarrow \qquad \emptyset = \tan^{-1} \sqrt{\frac{d^2 - r^2}{r^2}} \tag{1}$$

$$\text{Kuş Uçuşu Mesafe Kriteri} = \frac{d}{r} = \frac{1}{\cos \emptyset} \tag{2}$$

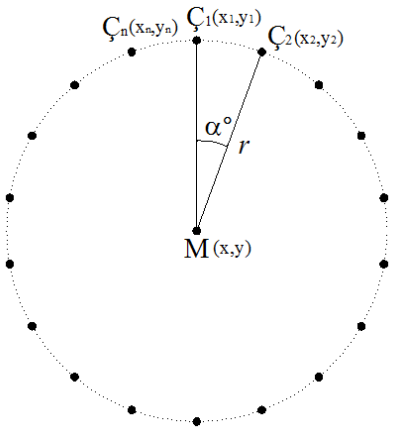
## Sistematik Nokta Seçimi

Şehiriçi yol ağlarında güzergah rasyonelliği ölçümü yapılabilmesi için şehrin yol ağında belirli sayıda nokta çifti belirlenmiştir. Belirlenen tüm güzergahlar, yolculuk mesafeleri, yolculuk süreleri, güzergah boyunca yapılabilecek ortalama hızları, nokta çiftleri arasındaki alternatif güzergahların mevcudiyeti gibi faktörler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeyle farklı şehirlerin kıyaslamasının yapılabilmesi için seçilen nokta çiftlerinin her şehirde aynı yöntemle belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla rasyonellik üzerine yapılacak çalışmalara başlamadan önce her şehirde uygulanabilecek bir sistematiklikte nokta seçimi yapılmalıdır. Seçilen nokta çiftlerinin şehiriçi yol ağının tamamını temsil edebilmesi için yeterli sayıda ve homojenlikte seçim yapılması gerekmektedir. Mevcut şehiriçi yol ağı modelleri incelendiğinde genellikle bir merkez noktadan dışarıya doğru ulaşımın sağlanmasının planlandığı geometrik şekiller oluşturulmuştur (Zorlu, 2008). Bu durum çalışmadaki sistematik nokta çiftleri belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Şehrin merkezinde bir nokta belirleyip bu nokta etrafında yeterli miktarda ve homojen aralıkla dağıtılmış noktalar seçerek, merkez nokta ile bu noktaların çift oluşturulması sağlanmıştır. Böylece sistematik radyal nokta seçimi yöntemi geliştirilmiştir.

Şehrin merkezinde seçilen bir nokta etrafında çember çizilip üzerinde eşit yay aralıklarında nokta seçimi yapılarak çiftler oluşturulacaktır. Fakat şehir planlaması yapılmamış ya da yol ağının tamamına bakıldığında düzgün bir geometrik şekle sahip olmayan şehirlerde bu yöntem uygulanamayabilir. Bu durumda ya o şehrin yol ağı sınırını[3] aşmayacak bir çember çizilerek noktalar belirlenecek ya da merkezden bir çember çizmek yerine kuş uçuşu uzunluğu yol ağının geometrisine göre değişen mesafelerde noktalar belirlenecektir. Şehrin geometrisine uygun olarak değişen kuş

[3] Yol ağı sınırı: Coğrafi etkenler ya da yerleşim alanlarının bulunmaması gibi sebeplerden dolayı şehiriçi yol ağları, şehir merkezinden uzaklaştıkça son bulabilmektedir. Şehiriçi yol ağlarının sonlandığı noktalardaki en dışta bulunan yollar yol ağı sınırını oluşturmaktadır.

uçuşu mesafelerde nokta seçimi yapılması bu noktaların harita üzerinde tespit edilmesi aşamasına geçildiğinde karmaşık bir durum yaratacaktır. Bazı şehirlerin yol ağı sınırlarının belli olmaması ve değişen kuş uçuşu mesafelerin birbirleriyle karşılaştırılmasının aynı rasyonellikte sonuçlar veremeyecek olması gibi sebepler kuş uçuşu mesafenin bir şehir için sabit bir değer olarak seçilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu yüzden çizilecek çemberin yarıçapı yol ağının sınırlarını aşmayacak şekilde belirlenmelidir. Bir şehirde ölçüm yapılacak bölge seçilirken merkez noktanın yerinin tayini önemlidir. Bu nokta belirlenirken nokta çiftlerinin oluşturacağı alanın, şehrin yol ağının oluşturduğu bölgenin büyük bir bölümünü kapsaması için gayret gösterilmelidir. Yani merkez nokta mümkün olduğunca yol ağının ağırlık merkezine yakın seçilmelidir. Nokta çiftlerinin oluşturduğu alanın bu şehri temsil etmeyeceği düşünülüyorsa birden fazla merkez noktası seçilerek o şehir için farklı bir yaklaşım geliştirilebilir. Seçilen nokta çiftlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus yeterli sayıda nokta çifti seçilmesi ve yol ağında homojen olarak dağılan güzergahlar oluşturabilmesidir. Sistematik olarak noktaların seçilmesi için merkez olarak alınan bir nokta etrafında çember çizilerek, çember üzerinde eşit yay mesafelerinde noktalar belirlenmesi uygun görülmüştür. Böylece istenilen sayıda ve homojen dağılımda ($MÇ_1$), ($MÇ_2$)… ($MÇ_n$) olarak '$n$' tane nokta çifti oluşturulabilmektedir (Şekil 1).




Şekil 1. Radyal sistemde çeper noktalarının seçimi ve koordinat değerleri.

Burada '$\alpha$' istenilen nokta çifti sayısına yani '$n$' ye bağlı bir değişkendir ve $\alpha = \frac{360}{n}$ formülü ile hesaplanır. '$r$' ise '$M$' başlangıç noktası ile '$Ç_i$' varış noktaları arasındaki kuş uçuşu mesafedir. Bu yöntem ile belirlenen noktalar, dijital haritalarda koordinat değerleri üzerinden belirlenecektir. Dijital haritalar üzerinde seçilen koordinat değerleri ile kuş uçuşu mesafeler arasında, enlem ve boylamlara bağlı bir ilişki vardır. Yani koordinat değerindeki artış x yönünde farklı, y yönünde farklı kuş uçuşu mesafeler vermektedir. Bu yüzden öncelikle kullanılacak olan Google Maps uygulamasının koordinat sistemi incelenmiştir. Uygulamada '*Burada Ne Var*' özelliği ile istenilen bir noktanın koordinat değeri belirlenebilmektedir. Koordinat değerleri ile mesafe arasında bağlantı kurmak için Tablo 1 oluşturulmuştur.

Tablo 1. Koordinat katsayıları hesap tablosu şablonu.

| **Koordinat Değerleri** | | **Kuş Uçuşu Mesafe (m)** |
|---|---|---|
| $M$ (x, y) | $M_1$ (x, {y+0.1}) | $K_y$ |
| $M_2$ ({x+0.1}, y) | $M$ (x, y) | $K_x$ |

## Koordinat Katsayıları

Tablo 1'de görüldüğü gibi harita üzerinde seçilen bir M(x, y) noktasının koordinat değerindeki 0.1 birimlik artış x ve y yönünde ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Koordinat noktası bilinen noktaların tespiti ve kuş uçuşu mesafe ölçümleri için Google Earth uygulaması Google Maps'e göre daha kullanışlıdır. Google Maps ise istenilen bir noktanın koordinat değerinin elde edilmesinde daha avantajlıdır. Ayrıca her iki uygulamadaki koordinat değerleri aynıdır. Google Maps uygulaması ile harita üzerinde bir 'M' noktası seçilerek koordinat değeri elde edilmiştir. Elde edilen koordinat değeri ile Tablo 1 temel alınarak '$MM_1$' ve '$M_2M$' nokta çiftleri oluşturulmuştur. Google Earth uygulamasında belirlenen nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler hesaplanmıştır. Ortaya çıkan sonuç koordinat değerlerindeki artışın x ve y yönünde farklı mesafeler arttırdığını, farklı şehirlerde yapılan aynı işlemlerde ise çok daha farklı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu da her şehir için koordinat değerleriyle kuş uçuşu mesafeler arasındaki ilişkiyi oluşturacak koordinat katsayılarının tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. (3) ve (4) hesaplanan kuş uçuşu mesafelerle koordinat katsayılarının belirlenmesi için oluşturulan formüllerdir.

$$k_x = \frac{1}{K_x} \times 1000 \qquad (k_x \text{ : y yönündeki koordinat katsayısı}) \qquad (3)$$
$$(K_x \text{ : y yönündeki kuş uçuşu mesafe})$$

$$k_y = \frac{1}{K_y} \times 1000 \qquad (k_y \text{ : x yönündeki koordinat katsayısı}) \qquad (4)$$
$$(K_y \text{ : x yönündeki kuş uçuşu mesafe})$$

Bir şehirde koordinat değerleri ile sistematik olarak noktaların elde edilebilmesini sağlayabilmek için koordinat değerleriyle mesafeler arasında bağlantı sağlayacak formüller (5), (6) ve (7) oluşturulmuştur. Bu formüller kullanılarak Şekil 1'de gösterilen noktalar elde edilmiş ve MÇ$_i$ noktaları koordinat değerleri şablonu oluşturulmuştur (Tablo 2).

$$Ç(x_i) = \cos(\alpha_i)\, k_x \left(\frac{r}{10}\right) + M(x) \qquad (5)$$

$$Ç(y_i) = \sin(\alpha_i)\, k_y \left(\frac{r}{10}\right) + M(y) \qquad (6)$$

$$\alpha = \frac{360}{n} \qquad \alpha_i = \alpha\,(i-1) \qquad (7)$$

($i$ : 1, 2, .., n; $i$'inci hesaplanan nokta sayısı, $r$'nin birimi km'dir)

Tablo 2. Şeçilen MÇ$_i$ noktalarının koordinat değerleri şablonu.

| **No** | **M (x, y)** | | **Kuzeyden Açı°** | ***r* (km)** | $k_x$ | $k_y$ | **Ç ($x_i$, $y_i$)** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **M(x)** | **M(y)** | | | | | **Ç($x_i$)** | **Ç($y_i$)** |
| 1 | x | y | $\alpha_1$ | r | $k_x$ | $k_y$ | $x_1$ | $y_1$ |
| 2 | x | y | $\alpha_2$ | r | $k_x$ | $k_y$ | $x_2$ | $y_2$ |
| 3 | x | y | $\alpha_3$ | r | $k_x$ | $k_y$ | $x_3$ | $y_3$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| n | x | y | $\alpha_n$ | r | $k_x$ | $k_y$ | $x_n$ | $y_n$ |

**Koordinat katsayıları ve sistematik nokta seçimi için örnek uygulama**

Google Maps uygulamasında Antalya şehri üzerinde rasgele bir noktada '*Burada Ne Var*' özelliği kullanılarak koordinat değeri seçilmiştir. Seçilen noktanın koordinatı: M (36.8923, 30.6757), $M_1$ noktasının koordinatı: $M_1$ $(36.8923, \{30.6757 + 0.1\})$, $M_2$ noktasının koordinatı: $M_2$ $(\{36.8923 + 0.1\}, 30.6757)$'dir. Nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler Google Earth programında ölçülmüştür. $MM_1$ noktaları arası mesafe, $K_y$ = 8913 m; $M_2M$ noktaları arası mesafe, $K_x$ = 11070 m'dir.

Tablo 3. Antalya için koordinat katsayıları hesap tablosu.

| Koordinat Değerleri | | Kuş Uçuşu Mesafe (m) |
|---|---|---|
| $M$ (36.8923, 30.6757) | $M_1$ (36.8923, 30.7757) | 8913 |
| $M_2$ (36.9923, 30.6757) | $M$ (36.8923, 30.6757) | 11070 |

$$k_x = \frac{1}{K_x} \times 1000 \quad \rightarrow \quad k_x = \frac{1}{11070} \times 1000 = 0.0903$$
$$k_y = \frac{1}{K_y} \times 1000 \quad \rightarrow \quad k_y = \frac{1}{8913} \times 1000 = 0.1122$$

Seçilen M(36.8923, 30.6757) noktasını merkez noktası, sistematik olarak belirlenecek çeper noktalarının sayısını 4, yarıçapı da 500 m olarak kabul edersek, $Ç_i$ noktalarının koordinat değerleri belirtilen formüller ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

Veriler;
n = 4 r = 500 m = 0.5 km
M(x) = 36.8923
M(y) = 30.6757

Formüller;
$$M(x_i) = \cos(\alpha_i) \times k_x \times (\frac{r}{10}) + Ç(x)$$
$$M(y_i) = \sin(\alpha_i) \times k_y \times (\frac{r}{10}) + Ç(y)$$
$$\alpha = \frac{360}{n} \qquad \alpha_i = \alpha \times (i - 1)$$

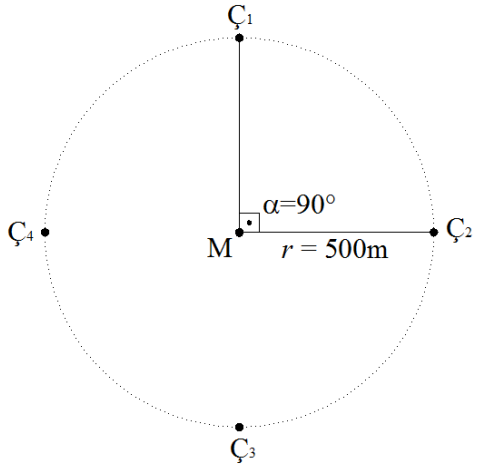
Hesaplar;
1. nokta için $Ç(x_1, y_1)$

$$\alpha = \frac{360}{4} = 90° \quad \rightarrow \quad \alpha_1 = 90 \times (1 - 1) = 0°$$
$$Ç(x_1) = \cos(0) \times 0.0903 \times (\frac{0.5}{10}) + 36.8923 = 36.8968$$
$$Ç(y_1) = \sin(0) \times 0.1122 \times (\frac{0.5}{10}) + 30.6757 = 30.6757$$
$$Ç(x_1, y_1) = (36.8968, 30.6757)$$

2., 3. ve 4. noktalar içinde aynı hesaplar yapılmıştır. Böylece '$MÇ_1$', '$MÇ_2$', '$MÇ_3$' ve '$MÇ_4$' olarak 4 adet nokta çifti oluşturulmuştur.

Tablo 4. Antalya için $MÇ_i$ noktalarının koordinat değerleri.

| No | M (x, y) | | Açı° | r (km) | $k_x$ | $k_y$ | Ç ($x_i$, $y_i$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M(x) | M(y) | | | | | Ç($x_i$) | Ç($y_i$) |
| 1 | 36.8923 | 30.6757 | 0° | 0.5 | 0.0903 | 0.1122 | 36.8968 | 30.6757 |
| 2 | 36.8923 | 30.6757 | 90° | 0.5 | 0.0903 | 0.1122 | 36.8923 | 30.6813 |
| 3 | 36.8923 | 30.6757 | 180° | 0.5 | 0.0903 | 0.1122 | 36.8877 | 30.6757 |
| 4 | 36.8923 | 30.6757 | 270° | 0.5 | 0.0903 | 0.1122 | 36.8923 | 30.6700 |




Şekil 2. Antalya için sistematik olarak seçilen noktalar ve koordinat değerleri.

## Güzergahlara Ait Verilerin Elde Edilmesi

Şehirler için oluşturulan koordinat değerleri çizelgesindeki M(x, y) noktasının koordinatları şehir merkezinde seçilen bir noktanın Google Maps uygulaması üzerindeki koordinat değerleridir. Koordinat değerleri belirlenen $MÇ_i$ nokta çiftleri tek tek Google Maps uygulamasına girilip güzergahlar hesaplatılarak uygulamanın verdiği güzergahların tüm alternatifleriyle birlikte yolculuk mesafeleri ve süreleri tespit edilmiştir. Ayrıca '*Aksi Yönde Yol Tarifi Al'* özelliği ile tüm nokta çiftleri için her iki yönde güzergahlar hesaplatılmıştır. Hesaplanan koordinatların tam olarak yol ağına denk gelmemesi durumunda Google Maps uygulaması belirlenen noktaya, yol ağı üzerinde en yakın noktayı seçerek güzergahı hesaplamaktadır. Bu durumda seçilen yarıçapta küçük değişiklikler olabilmektedir. Dolayısıyla hesaplanan güzergahların gerçek $MÇ_i$'leri arasındaki kuş uçuşu mesafeler Google Maps uygulamasının bir eklentisi olan '*Mesafe Ölçüm Aracı*' ile ölçülerek gerçek kuş uçuşu değerler ($r_g$) elde edilmiştir. Hesaplanan tüm güzergahlar için yolculuk mesafesi ve yolculuk süreleriyle birlikte kuş uçuşu mesafeler de ölçülerek her şehir için Tablo 5 ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Tablo 5. Yolculuk Mesafesi - Yolculuk Süresi - Alternatif Sayısı çizelge şablonu.

| **Şehir: X** | | **M-Ç yönündeki güzergahlar** | | | | | | | **Ç-M yönündeki güzergahlar** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No | $r_g$ | $d_1$ | $t_1$ | $d_2$ | $t_2$ | $d_3$ | $t_3$ | Alternatif sayısı | $d_1$ | $t_1$ | $d_2$ | $t_2$ | $d_3$ | $t_3$ | Alternatif sayısı |
| 1 | $r_{g_1}$ | $d_{11}$ | $t_{11}$ | $d_{12}$ | $t_{12}$ | $d_{13}$ | $t_{13}$ | $A_1$ | $d_{11}$ | $t_{11}$ | $d_{12}$ | $t_{12}$ | $d_{13}$ | $t_{13}$ | $A_1$ |
| 2 | $r_{g_2}$ | $d_{21}$ | $t_{21}$ | $d_{22}$ | $t_{22}$ | $d_{23}$ | $t_{23}$ | $A_2$ | $d_{21}$ | $t_{21}$ | $d_{22}$ | $t_{22}$ | $d_{23}$ | $t_{23}$ | $A_2$ |
| 3 | $r_{g_3}$ | $d_{31}$ | $t_{31}$ | $d_{32}$ | $t_{32}$ | $d_{33}$ | $t_{33}$ | $A_3$ | $d_{31}$ | $t_{31}$ | $d_{32}$ | $t_{32}$ | $d_{33}$ | $t_{33}$ | $A_3$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| n | $r_{g_n}$ | $d_{n1}$ | $t_{n1}$ | $d_{n2}$ | $t_{n2}$ | $d_{n3}$ | $t_{n3}$ | $A_n$ | $d_{n1}$ | $t_{n1}$ | $d_{n2}$ | $t_{n2}$ | $d_{n3}$ | $t_{n3}$ | $A_n$ |

Çizelge 2.3'teki '*d*' değerleri hesaplanan güzergahların uzunluğunu 'km' olarak, '*t*' değerleri yolculuk sürelerini 'dakika' olarak, '*A*' değerleri belirlenen nokta çifti için alternatif güzergah sayılarını ve '$r_g$' değerleri ise gerçek kuş uçuşu değerlerini 'km' olarak vermektedir.

# Rasyonellik Kavramı

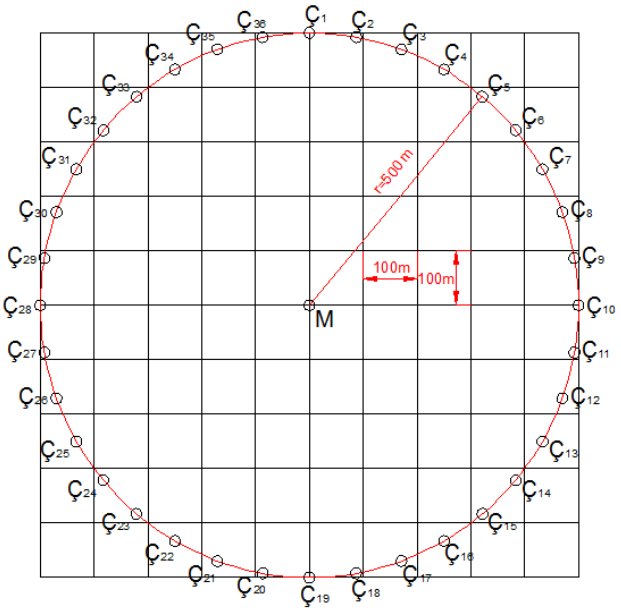
## Yol Ağları

Ulaşım planlamasında yol ağı tasarımı aşamasında öngörülen sistemin yeterliliği, yolculuk talep tahmini ve yolculuk atama yöntemleri ile değerlendirilmektedir. 1970'li yıllardan bu yana yolculukların ağ üzerindeki dağılımı ve yolların yeterlilik durumları yolculuk benzetim yöntemleri ile kestirilmektedir (Ortuzar ve Willumsen, 2011). Zorlu (2008) topolojik sınıflama ile yolculuk atama yöntemini birlikte kullanılarak farklı yol ağlarının aynı tahmin koşullarında göreli üstünlüklerini araştırmıştır. Araştırmayı, Wright ve diğerlerinin (1989) tanımladığı 11 dolaşım sisteminin Lynch'in (1981) tanımladığı 3 temel doku üzerinde uygulanması ile elde edilen toplam 33 yol ağı üzerinde yapmıştır. Bütün ağlar topolojik özelliklere göre gruplandırılmış ve teorik olarak üstünlükleri yönünden karşılaştırılmıştır. Buna göre yol ağlarını yüksek bağlantılı (tümleşik), orta derecede bağlantılı (kısmen tümleşik/ayrıksı) ve ağaç türevleri olmak üzere üç alt gruba ayırmıştır. Her alt gruptaki ağı verimlilik, dayanıklılık, esneklik ve erişilebilirlik ölçütlerine göre karşılaştırarak göreli üstünlüklerini belirlemiştir. 33 yol ağı topolojik özelliklerine göre 3 alt grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar, tümleşik, yarı tümleşik (ayrıksı) ve ışınsal-ağaç sistemler olarak adlandırılmıştır. Bu sınıflama yol ağlarının bağlantı yoğunluğuna göre yapılmıştır. Değerlendirme aşamasında bu üç alt grup içerisindeki yol ağları temel alınan doku ve uygulanan sistemlere göre alt sınıflara ayrılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaların sonucunda, tümleşik yol ağlarından olan yaygın çokgen dolaşım sisteminin tüm ağlar içinde ortalama yolculuk mesafesi ve ortalama yolculuk süresi en kısa olan grupta yer aldığını belirtmiştir. Oluşturulan yol ağları arasında kare ızgara çokgenin daha verimli ve daha dengeli biçimde işlendiği, bu yol ağı tipinin, uygulanan yolculuk talebine göre belirgin bir kademelenme olmaksızın işleyebildiği belirtilmiştir (Zorlu, 2008). Farklı şehirlere ait yol ağları üzerinde rasgele seçilen güzergahlar için kuş uçuşu mesafe kriterinde belirtilen $d/r$[4] oranları hesaplandığında, ızgara yaygın çokgen ve dairesel yaygın çokgen tipindeki yol ağlarında daha küçük sonuçlar çıktığı gözlenmiştir. Bu da daha rasyonel sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada yapılan ölçümler de bu görüşü desteklediği için prototip olarak kare ızgara bir yol ağı (grid) tasarlanmasına karar verilmiştir.

## Prototip Yol Ağında Kayıp Süre ve Hız Limiti

Rasyonellik ölçümlerinin yapılacağı yol ağı her 100 metrede bir kavşak bulunan, toplamda 1 km$^2$ alana ve 121 km uzunluğunda yola sahip 10×10'luk kare grid bir yol ağı (birim ağ) olarak tasarlanmıştır. Bu tasarı, sistematik olarak seçilen noktaların bir daire üzerinde bulunmasından dolayı yol ağına yarıçapı 500 m olan bir çember eklenerek tamamlanmıştır. Böylece rasyonellik değerleri için ölçüm yapılıp rasyonellik sınır değerlerinin[5] belirlenebileceği 'prototip' bir yol ağı elde edilmiştir (Şekil 3).

[4] $d/r$ : İki nokta arasında hesaplanan bir güzergahın mesafesinin kuş uçuşu mesafesine oranı.
[5] Rasyonellik sınır değeri: Yapılacak ölçüm sonucunda yol ağları ya da güzergahların rasyonel sayılabilmesi için gereken sınır değerleri.




Şekil 3. Rasyonel olarak kabul edilen yol ağı ve $MÇ_i$ nokta çiftlerinin görünümü.

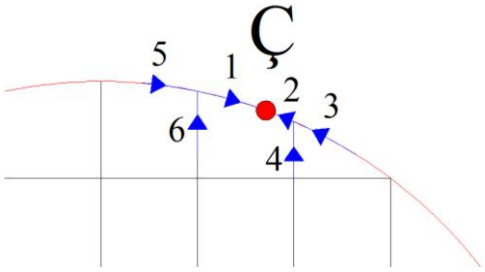
Bir aracın şehiriçinde çok kısa olmayan mesafelerde sabit bir hızla ilerlemesi mümkün değildir. Bunun en önemli sebeplerinden biri kavşaklardır. Kavşaklarda trafik ışığı bulunsun ya da bulunmasın araçlar genellikle hız kesmek zorunda kalmakta ve yolculuk süreleri güzergah üzerinde bulunan kavşak sayısına göre artmaktadır. Bu çalışmada yolculuk sürelerinin uzamasına neden olan bu durum kayıp süre olarak ifade edilmiştir. Ortalama hız kriteri için hesaplanacak rasyonellik sınır değeri kavşak sıklığına ve kayıp sürelere bağlı olacağı için öncelikle prototip yol ağındaki kavşaklarda meydana gelecek kayıp süreler tespit edilmiştir. Kayıp sürelerin belirlenmesi için rasgele seçilen şehir ve kavşaklarda Google Maps uygulaması üzerinde bazı örneklemeler yapılmıştır. Örneğin Los Angeles'ta rasgele seçilen bir kavşaktan hemen önceki ve sonraki link[6] üzerinde aralarında 550 metre mesafe bulunan A ve B noktaları seçilmiştir. Bu noktalar arasındaki güzergahların yolculuk süreleri 38 saniye olarak okunmuştur. Son olarak aynı kavşakta, A noktası kavşaktan hemen önce, B noktası ise hemen sonra olacak şekilde 550 metre mesafede iki nokta seçilerek arasındaki yolculuk süresi 58 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu da kavşakta 20 saniyelik bir kayıp süre yaşandığını göstermektedir. Farklı şehir ve kavşaklarda aynı ölçümler yapıldığında (aralarında farklı mesafeler bulunan A ve B nokta çiftleri için) yolculuk sürelerinin kavşaklarda genellikle 20 saniye civarında bir artışa neden olduğu gözlenmiştir. Prototip olarak belirlediğimiz yol ağında her 100 metre de bir kavşak bulunmaktadır. Google Maps uygulamasında bir çok şehirde kavşaklar arası mesafeler ölçüldüğünde bu değerin şehrin gelişmişliğine göre çok farklı değerler verdiği gözlenmiştir. Bu yüzden grid olarak tasarlanmış bir yol ağına sahip olan Los Angeles şehri baz alınarak, yol ağı üzerinde bir çok noktada kavşaklar arası uzunluk ölçümü yapılmış ve kavşak sıkılığı için 800 metre değeri uygun görülmüştür. Bu durumda prototip yol ağı için kayıp süre olarak belirlenen 20 saniye 1/8 (100/800) ölçeğinde küçültülerek her kavşakta 2.5 saniyelik bir kayıp süre olacağı kabul edilmiştir. Değişik ülkelerin şehiriçi hız limitleri araştırıldığında çoğu ülkedeki sınırının 50 km/sa olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmadaki prototip yol ağı için hız limiti de 50 km/sa olarak kabul edilmiştir.

[6] Link: İki kavşak arasında kalan yol kesimi, bağ.

**Prototip Yol Ağında Nokta Çiftleri ve Güzergahların Belirlenmesi**

Prototip yol ağının oluşturulması, hız limiti ve kayıp süre kabullerinden sonra sistematik nokta seçimi yöntemiyle $MÇ_i$ nokta çiftleri belirlenmiştir (Bkz. Şekil 3). Merkez noktası (M) yol ağının geometrik olarak ağırlık merkezidir. Merkez noktasının etrafında n = 36 adet nokta seçilmesi uygun görülmüştür. Yarıçap yani bu 36 noktanın her birine kuş uçuşu mesafe 500 m'dir. Seçilen ilk nokta *y* ekseni üzerinde sonraki noktalar ise saat yönünde merkezden 10°'lik açılarla ilerlemektedir. Seçilen nokta çiftleri arasındaki güzergahlar en kısa mesafeyi verecek ve her nokta çifti için üç alternatif olacak şekilde belirlenmiştir. Bu güzergahlar belirlenirken eğer nokta bir kavşak üzerinde ise (Şekil 3'teki $Ç_1$, $Ç_{10}$, $Ç_{19}$ ve $Ç_{28}$ noktaları) bu kavşağı oluşturan farklı yollardan bu noktaya ulaşımı sağlayacak üç alternatif güzergah hesaplanmıştır. Eğer bir kavşakta bulunmuyorsa çember üzerinde bulunan noktaya her iki yönden ulaşım sağlayacak iki alternatif ve bu noktaya en yakın olan iki kavşak belirlenerek, kavşağa bağlanan farklı yollar arasında ulaşımı sağlayacak en kısa üçüncü alternatif belirlenmiştir.

Örneğin Şekil 4'te kavşak üzerinde bulunmayan bir noktaya ulaşımı sağlayacak üç alternatif güzergahtan ikisi kesinlikle 1 ve 2 oklarından sağlanacak, üçüncü alternatif ise 3, 4, 5 ve 6 oklarından en kısa güzergahı sağlayan seçilerek belirlenecektir. Merkez noktasının Şekil 4'te verilen "Ç" noktasının sol alt tarafında bulunduğunu varsayarsak üç alternatif için belirlenecek güzergahlar 5-1, 6-1 ve 4-2 oklarından geçmelidir.




Şekil 4. Alternatif güzergahların oluşturulması.

Şekil 3 incelendiğinde yol ağının düzgün bir geometride tasarlanmasından dolayı her 90°'de bir, nokta çiftleri için aynı şartlar oluşmaktadır. Yani 90° aralıklarla seçilen noktalar için hesaplanan tüm alternatif güzergahlar aynı uzunluklara sahiptir. Bu durumda ilk dokuz nokta dört kez tekrar ederek toplam 36 nokta elde edilmiştir. Ayrıca 2-9, 3-8, 4-7 ve 5-6 noktaları simetriktir. Dolayısıyla tüm nokta çiftleri için güzergah hesabı yapılmasına gerek kalmayıp, ilk 5 nokta çifti için hesaplanan güzergahlar yeterli olmuştur. Rasyonellik sınır değerlerinin güvenli bölgede kalması için kayıp süre hesaplamalarında her güzergaha fazladan bir kavşak eklenmiştir. Her kavşakta 2.5 sn süre kaybı gerçekleşecektir. Prototip yol ağında belirlenen nokta çiftleri arasında güzergahların uzunlukları ($d_1$, $d_2$, $d_3$) belirlendikten sonra bu güzergahlara ait ortalama yolculuk sürelerinin ve ortalama hızların hesaplanabilmesi için aşağıda verilen formüllere göre Tablo 6 oluşturulmuştur.

Hız limiti = 50 km/sa = 13.89 m/sn

$$\text{Kavşak Sayısı: [Tavana Yuvarla}\left(\frac{d_1+d_2+d_3}{3\cdot 100}\right)] - 1 \qquad (8)$$

$$\text{Ortalama Güzergah Uzunluğu} = \frac{d_1+d_2+d_3}{3} \quad (9)$$

$$\text{Yolculuk Süresi} = \frac{\text{Ortalama Güzergah Uzunluğu}}{\text{Hız Limiti}} \text{ sn} \quad (10)$$

$$\text{Kayıp Süre} = (\text{Kavşak Sayısı} + 1) \times 2.5 \text{ sn} \quad (11)$$

$$\text{Güzergahın Yolculuk Süresi} = (\text{Yolculuk Süresi} + \text{Kayıp Süre}) \text{ sn} \quad (12)$$

$$\text{Ortalama Hız} = \frac{\text{Ortalama Güzergah Uzunluğu}}{\text{Güzergahın Yolculuk Süresi}} \text{ m/sn} \quad (13)$$

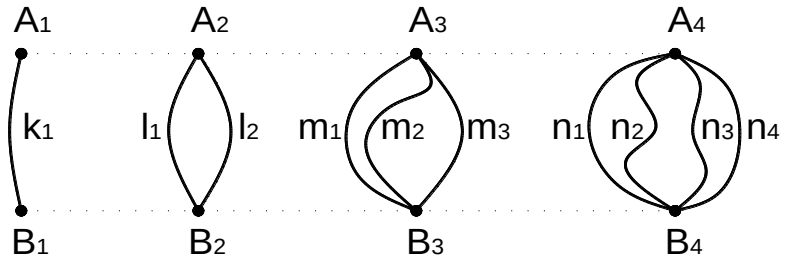
Tablo 6. Prototip yol ağı için hesaplanan güzergahlara ait değerler.

| No | $d_1$(m) | $d_2$(m) | $d_3$(m) | Kavşak sayısı | Alternatif sayısı | Hız limiti (m/sn) | Yolculuk Süresi (sn) | Güzergahın Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Hız (m/sn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 500.0 | 690.5 | 690.5 | 6 | 3 | 13.89 | 45.14 | 62.64 | 10.00 |
| 2 | 587.2 | 603.3 | 772.3 | 6 | 3 | 13.89 | 47.11 | 64.61 | 10.12 |
| 3 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | 6 | 3 | 13.89 | 48.64 | 66.14 | 10.21 |
| 4 | 714.3 | 751.0 | 760.5 | 7 | 3 | 13.89 | 53.42 | 73.42 | 10.10 |
| 5 | 726.7 | 786.6 | 801.5 | 7 | 3 | 13.89 | 53.76 | 73.76 | 10.12 |
| 6 | 726.7 | 786.6 | 801.5 | 7 | 3 | 13.89 | 53.76 | 73.76 | 10.12 |
| 7 | 714.3 | 751.0 | 760.5 | 7 | 3 | 13.89 | 53.42 | 73.42 | 10.10 |
| 8 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | 6 | 3 | 13.89 | 48.64 | 66.14 | 10.21 |
| 9 | 587.2 | 603.3 | 772.3 | 6 | 3 | 13.89 | 47.11 | 64.61 | 10.12 |

Burada örneğin üç nolu satır için 3 adet alternatif güzergah hesaplanmıştır. Bunlar sırasıyla 663.7 metre, 674.5 metre ve 688.6 metre uzunluklarındadır. Bu 3 nolu nokta çifti için ortalama güzergah uzunluğu 675.6 metredir. 675.6 metre uzunluğa sahip bir güzergahta prototip yol ağı için yapılan kabuller doğrultusunda 6 adet kavşak bulunmaktadır. Güzergah üzerindeki hız limiti 13.89 m/sn (50 km/sa)'dir. Kavşaklarda kayıp süre yaşanmasaydı yolculuk süresi 48.64 sn olacaktı. Buna kayıp sürelerde dahil edildiğinde bu güzergahtaki yolculuk süresi 66.14 sn olacaktır. Bu durumda güzergahta yapılan ortalama hız 10.21 m/sn'dir.

**Denklik Durumları**

Aynı kuş uçuşu mesafe ve farklı alternatif güzergah sayısına sahip nokta çiftlerinin, birbirleriyle güzergah uzunlukları açısından kıyaslanabilmesi için denklik testi ihtiyacı oluşmuştur. Örneğin Şekil 5'de verilen '$A_1B_1$', '$A_2B_2$', '$A_3B_3$' ve '$A_4B_4$' nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler aynıdır. Bu dört durum farklı alternatif güzergah sayısı ve güzergah uzunluklarına sahiptir. Tüm güzergahlar ayrı ayrı birbirleriyle KUM ve OH kriterine göre kıyaslanabilmektedir. Bu dört durum ele alındığında AG kriterine göre yine kıyaslanabilmektedir. Fakat bu dört durum arasında, tüm kriterler bir arada düşünüldüğünde hangisi en rasyonel olduğu bilinememektedir. Bu dört durumun birbiriyle kıyaslanabilmesini sağlamak amacıyla denklik durumları oluşturulmuştur. Denklik durumları sadece ortak rasyonellik değerlendirmesinde kullanılacaktır. Bunun için öncelikle her nokta çifti arasındaki alternatif güzergah uzunluklarının kendi gruplarında ortalamaları alınarak her bir durum için tek bir güzergah uzunluğu elde edilecektir. Sonra alternatif sayıları ile bu ortalama güzergah uzunlukları arasında bir denklik oluşturulacaktır. Bu dört durumun elde edilmesi için ise prototip yol ağında oluşturulan alternatif güzergahlardan faydalanılacaktır (Bkz. Tablo 6). Bunun için öncelikle dördüncü en kısa alternatif güzergahlar da hesaplanarak Tablo 7 oluşturulmuştur.




Şekil 5. Farklı alternatif sayısı ve güzergah uzunluklarına sahip dört durum.

Tablo 7. Prototip yol ağındaki nokta çiftleri arasındaki alternatif güzergah mesafeleri.

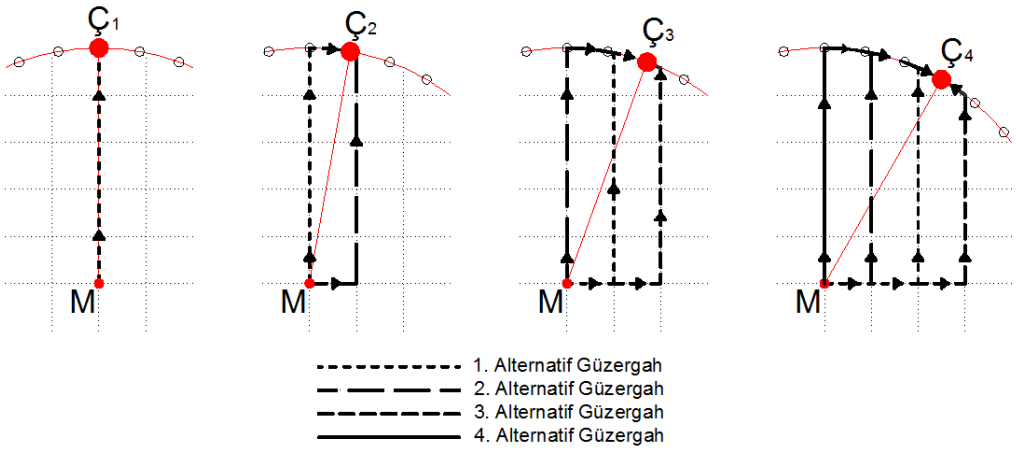
| No | $d_1$(m) | $d_2$(m) | $d_3$(m) | $d_4$(m) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 500.00 | 690.58 | 690.58 | 864.02 |
| 2 | 587.27 | 603.31 | 772.35 | 803.31 |
| 3 | 663.75 | 674.53 | 688.66 | 801.57 |
| 4 | 714.30 | 751.02 | 759.95 | 761.80 |
| 5 | 726.70 | 786.65 | 801.57 | 838.28 |
| 6 | 726.70 | 786.65 | 801.57 | 838.28 |
| 7 | 714.30 | 751.02 | 759.95 | 761.80 |
| 8 | 663.75 | 674.53 | 688.66 | 801.57 |
| 9 | 587.27 | 603.31 | 772.35 | 803.31 |

Tablo 7'deki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü alternatif güzergahlar sütunundaki en rasyonel güzergahlar belirlenmiştir (taranarak belirtilmiştir). Belirlenen bu ilk dört satırdaki taranan sütunlardan önceki alternatif güzergahlar arasında 10 ila 40 metre civarında uzunluk farkı vardır. Sonrasındaki ilk sutünla ise aralarında 100 ila 190 metre civarında bir fark vardır. Bunun nedeni en kısa alternatifler olmasına rağmen gereksiz mesafe kaybına yol açan güzergahların elde edilmiş olmasıdır. Bu alternatifler rasyonellik sınır değerleri kapsamında değerlendirilmeyecektir. Böylece bu güzergahlar çıkarılarak Şekil 5'deki denklik durumları oluşturulmuştur (Tablo 8).

Tablo 8. Güzergah uzunluğu ve alternatif sayılarına göre birbirine denk sayılacak durumlar.

| Alternatif sayısı | $d_1$ (m) | $d_2$ (m) | $d_3$ (m) | $d_4$ (m) | $d_{ort}$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 500.0 | | | | 500.0 |
| 2 | 587.2 | 603.3 | | | 595.2 |
| 3 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | | 675.6 |
| 4 | 714.3 | 751.0 | 759.9 | 761.8 | 746.7 |

Burada kuş uçuşu mesafesi 500 m olan nokta çiftleri arasında; bir alternatife sahip ortalama güzergah uzunluğu 500 m olan, iki alternatife sahip ortalama güzergah uzunluğu 595.2 m olan, üç alternatife sahip ortalama güzergah uzunluğu 675.6 m olan ve dört alternatife sahip ortalama güzergah uzunluğu 746.7 m olan dört durum birbirine denk olarak kabul edilmiştir (Şekil 6).




Şekil 6. Prototip yol ağında birbirine denk sayılacak durumlar.

Bu dört durum için hesaplanan alternatif güzergah ortalamaları kuş uçuşu mesafeye bağlı değerler vermektedir. Bu değerleri birim değerlere dönüştürmek için $\frac{d_{ort}}{r}$ değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerle alternatif güzergah sayıları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için . $\frac{d_{ort}}{r}$ değerleri ile alternatif sayıları arasındaki ilişki grafiği çizilmiştir. Grafik üzerine doğrusal eğilim çizgisi eklenerek alternatif güzergahların ortalama uzunlukları ve alternatif sayıları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkiyi sağlayan denklem y=0.1642x+0.8484 olarak bulunmuştur.

## Rasyonellik Sınır Değerleri

KUM ve OH kriterleri için rasyonellik sınır değerleri Tablo 1'deki verilere göre hesaplanabilir. Fakat AG kriteri için bu tablo rasyonellik sınır değerini veremez. Çünkü prototip yol ağında tüm nokta çiftleri için standart olarak en kısa üç alternatif güzergah belirlenmiştir. AG kriteri için de ölçüm yapılabilmesi için Tablo 6'de bulunan gereksiz mesafe kaybına yol açan alternatif güzergahlar çıkarılarak Tablo 9 oluşturulmuştur. Ayrıca bir nokta çifti arasında aynı uzunluğa sahip farklı alternatif güzergahlar, tek bir alternetif güzergah olarak değerlendirilmiştir. Böylece AG kriteri için de rasyonellik sınır değerleri belirlenebilecektir.

Tablo 9. Rasyonellik sınır değerleri verileri.

| No | $d_1$ (m) | $d_2$ (m) | $d_3$ (m) | $d_{ort}$ (m) | Güzergahın Yolculuk Süresi (sn) | Ortalama Hız (m/sn) | Alternatif sayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 500.0 | | | 500.0 | 48.5 | 10.30 | 1 |
| 2 | 587.2 | 603.3 | | 595.2 | 57.8 | 10.28 | 2 |
| 3 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | 675.6 | 66.1 | 10.21 | 3 |
| 4 | 714.3 | 751.0 | 760.5 | 741.9 | 73.4 | 10.10 | 3 |
| 5 | 726.7 | 786.6 | 801.5 | 771.6 | 75.5 | 10.21 | 3 |
| 6 | 726.7 | 786.6 | 801.5 | 771.6 | 75.5 | 10.21 | 3 |
| 7 | 714.3 | 751.0 | 760.5 | 741.9 | 73.4 | 10.10 | 3 |
| 8 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | 675.6 | 66.1 | 10.21 | 3 |
| 9 | 587.2 | 603.3 | | 595.2 | 57.8 | 10.28 | 2 |
| Ortalama | 653.7 | 703.8 | 750.2 | 674.3 | 66.0 | 10.21 | 2.556 |

Bu tablo ile prototip yol ağında elde edilen güzergahlara ait uzunluk, yolculuk süresi, hız ve alternatif sayısı verileri kullanılarak KUM, OH ve AG kriterlerine göre rasyonellik sınır değerleri şu şekilde belirlenmiştir: KUM kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: $\frac{d_{ort}}{r} = \frac{674.3}{500} = 1.348$ (maks.), OH kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 10.21 m/sn = 36.78 km/sa (min.), AG kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: $\frac{Alternatif\ sayısı_{ort}}{3} = \frac{2.556}{3} = 0.852$ (min.)'dir. Bu tabloda hesaplanan son satırdaki ortalama değerler ile seçilen ilk noktanın kuzey yönünde olması halindeki rasyonellik sınır değerleri hesaplanmıştır. Rasyonellik değerleri KUM kriteri için alternatif güzergahların ortalamaları baz alınarak hesaplanmıştır. Fakat uygulamada en kısa alternatif değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılacaktır. OH ve AG kriterleri için ise tüm güzergahlar hesaba katılacaktır. Bunun sebebi oluşturulan sınır değerlerin en ideal değerleri değil, kabul edilebilir değerleri vermesini sağlamaktır. Yani belirli bir güven aralığı oluşturmaktır. Tüm kriterler dahilinde tek bir rasyonellik tanımlaması yapılabilmesi için öncelikle alternatif güzergah kriteri ile kuş uçuşu mesafe kriteri arasında Tablo 8'deki denkliklerden faydalanarak $\frac{(d_{ort}-r)+m\times r}{m\times r\times \text{Alternatif sayısı}}$ formülü oluşturulmuştur. Burada '$d_{ort}$' güzergah uzunluklarının ortalaması, '$r$' kuş uçuşu mesafe, '$m$' ise $\frac{d_{ort}}{r}$ ile alternatif sayıları arasındaki ilişkiyi veren eğim değeridir. Böylece kuş uçuşu mesafe ve alternatif güzergah kriterlerinin aynı anda değerlendirilebileceği formül $\frac{(d_{ort}-r)+0.1642\times r}{0.1642\times r\times \text{Alternatif sayısı}}$ şeklinde geliştirilmiş ve bu formül kullanılarak Tablo 10 oluşturulmuştur.

Tablo 10. KUM - AG kriterleri tablosu.

| No | $d_1$ (m) | $d_2$ (m) | $d_3$ (m) | $d_{ort}$ (m) | $d_{ort}$ - $r$ (m) | Alternatif Sayısı | KUM - AG kriteri |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 500.0 | | | 500.0 | 0.0 | 1 | 1 |
| 2 | 587.2 | 603.3 | | 595.2 | 95.2 | 2 | 1.080 |
| 3 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | 675.6 | 175.6 | 3 | 1.046 |
| 4 | 714.3 | 751.0 | 760.5 | 741.9 | 241.9 | 3 | 1.315 |
| 5 | 726.7 | 786.6 | 801.5 | 771.6 | 271.6 | 3 | 1.436 |
| 6 | 726.7 | 786.6 | 801.5 | 771.6 | 271.6 | 3 | 1.436 |
| 7 | 714.3 | 751.0 | 760.5 | 741.9 | 241.9 | 3 | 1.315 |
| 8 | 663.7 | 674.5 | 688.6 | 675.6 | 175.6 | 3 | 1.046 |
| 9 | 587.2 | 603.3 | | 595.2 | 95.2 | 2 | 1.080 |
| Ortalama | 653.7 | 703.8 | 750.2 | 674.3 | 174.3 | 2.56 | 1.195 |

Tablo 10'da görüldüğü gibi KUM ve AG kriterlerine göre Rasyonellik Sınır Değeri (RSD) 1.195'dir (Tablo 10'da son satır, son sütun). Hesaplanan bu değer, incelenen yol ağının ya da bir güzergahın ortalama hız kriteri dikkate alınmadığı takdirde, rasyonel olarak kabul edilebilmesi için gereken maksimum rasyonellik değerini vermektedir. Tablo 10'da kuş uçuşu mesafesi 500 m olan bir nokta çifti arasında sadece bir alternatif güzergah bulunuyorsa bu durumun rasyonel sayılabilmesi için maksimum güzergah uzunluğunun $500 \times 1.195 = 597.5$ m, iki alternatif güzergah varsa maksimum güzergah uzunlukları ortalamasının $595.2 \times 1.195 = 711.3$ m, üç alternatif güzergah varsa maksimum güzergah uzunlukları ortalamasının $675.6 \times 1.195 = 807.3$ m olması gerekmektedir. Ortalama hız kriteri de işin içine girdiğinde bir güzergaha ait yolculuk süresi hesaplanarak tüm kriterlerin bir araya geldiğindeki rasyonellik sınır değeri elde edilmiştir. Burada $\frac{\text{KUM ve AG kriterlerine göre RSD}}{\text{OH kriterine göre RSD}} \times 60$

formülü oluşturulmuştur. Fakat iki nokta arasındaki rasyonellik kavramı düşünüldüğünde kuş uçuşu mesafe kriterinin diğer kriterlere göre önem seviyesi daha yüksektir. Bu yüzden formül $\frac{(\text{KUM kriterine göre RSD})+(\text{KUM ve AG kriterlerine göre RSD})}{(\text{OH kriterine göre RSD}+\text{Şehiriçi hız limiti})} \times 60$ şeklinde düzenlenmiştir. Bu formülde rasyonellik sınır değerlerinin belirli bir güven aralığında kalması için paya kuş uçuşu mesafe kriteri eklenerek etkisi artırılırken paydada ortalama hız kriterinin etkisini azaltmak için şehiriçi hız limiti eklenmiştir. Bu durumda tüm kriterler için Ortak Rasyonellik Sınır Değeri (RSD) $\frac{[(1.3486)+(1.1952)]\times 60}{(36.78+50)} = 1.7304$ (maks.)'dir. Örneğin kuş uçuşu mesafesi 1 km olan nokta çifti arasındaki güzergahın yolculuk süresi 1.73 dakika, yani 1 dk. 44 sn.'den fazla olmamalıdır.

Hesaplanan tüm rasyonellik sınır değerleri için başlangıç noktaları belirlendikten sonra seçilen ilk nokta kuzey yönünde ve $0^0$'de olmuştur. Diğer noktalar ise 10'ar derecelik açılarla artarak, merkez noktanın etrafında 36 nokta seçilmiştir. Burada seçilen ilk nokta $0^0$'de olmasaydı, bu durumda yeni oluşan nokta çiftleri ile rasyonellik sınır değerleri elde edilseydi nasıl bir sonuca varılacağı tespit edilmiştir. Bunun için belirlenen noktalara en uzak noktalar seçilerek aynı yöntemler uygulanmıştır. Tüm noktalar $5^o$ kaydırılarak farklı 36 nokta elde edilmiş ve aynı tablolar hazırlanıp, işlemler tekrar gerçekleştirilmiştir.

KUM kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 1.348 (maks.), OH kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 10.119 m/sn = 36.428 km/sa (min.), AG kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 0.778 (min.), KUM ve AG kriterlerine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 1.3617 (maks.), Ortak Rasyonellik Sınır Değeri: 1.8811 (maks.)'dir.

'$0^o$' ve '$5^o$' de yapılan ölçümler için yapılan değerlendirmelere göre rasyonellik sınır değerleri şu şekilde bulunmuştur: KUM kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri 1.348 (maks.), OH kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri 36.43 km/sa (min.), AG kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri 0.778 (min.)'dir. KUM - AG - OH kriterlerine göre Rasyonellik Sınır Değeri 1.8811 (maks.)'dir. Yani bir şehrin yol ağının KUM kriterine göre rasyonel sayılabilmesi için maksimum KUM kriteri rasyonellik değeri maksimum 1.348; AG kriterine göre rasyonel sayılabilmesi için AG kriteri rasyonellik değeri minimum 0.778; OH kriterine göre rasyonel sayılabilmesi için OH kriteri rasyonellik değeri minimum 36.428 km/sa olmalıdır. Şehrin genel olarak rasyonel sayılabilmesi için ise ortak rasyonellik değerinin maksimum 1.8811 olmalıdır.

## Uygulamalar

Bildiri kapsamında incelenecek kentlerin mümkün olduğunca farklı ülkelerden olmasına ve yol ağı denizle çok iç içe olmayan şehirler olarak seçilmesine dikkat edilmiştir. Gayri safi milli hasılası (GSMH) yüksek şehirlerin yol ağlarının daha rasyonel sonuçlar vereceği düşünülerek 2005'te ve 2020'de öngörülen GSMH değerlerine göre dünya sıralamasında ilk 100'e giren şehirler arasından Tablo 11'de görülen şehirler seçilmiştir. (PricewaterhouseCoopers UK Economic Outlook, March 2007). Sistematik olarak seçilecek çevre noktaların belirlenmesindeki ilk aşama başlangıç noktasının yerinin tayinidir. Başlangıç noktası belirlenirken şu hususlar dikkate alınmıştır: Şehiriçi yol ağının mümkün olduğunca geometrik olarak ağırlık merkezine yakın bölgelerinde ve şehrin merkezi olarak nitelendirilebilecek bölgelerde

özellikle şehrin önemli meydan, park, devlet binası, gar vb. yapılarının bulunduğu yerlerde seçilmiştir. Mümkün olduğunca kavşaklarda noktalar seçilmiştir. Başlangıç noktası, bölünmüş yollarda ya da tek yön yollarda kesinlikle seçilmemiştir. Seçilen şehirler için belirlenen başlangıç noktası koordinat değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Örnek şehirler için belirlenen başlangıç noktası Google Maps koordinat değerleri.

| **Şehir** | **M ($x_i$, $y_i$)** | **Şehir** | **M ($x_i$, $y_i$)** |
|---|---|---|---|
| Tokyo | (35.68951, 139.691) | Roma | (41.91029, 12.47638) |
| Los Angeles | (34.05222, -118.243) | Pekin | (39.90788, 116.4067) |
| Paris | (48.86093, 2.340843) | Tahran | (35.71174, 51.40696) |
| Londra | (51.50805, -0.12712) | Birmingham | (52.48162, -1.89937) |
| Madrid | (40.42008, -3.66499) | Manchester | (53.47817, -2.24537) |
| Moskova | (55.74994, 37.60929) | Münih | (48.14456, 11.56972) |
| İstanbul (Avrupa) | (41.05258, 28.93173) | Ankara | (39.92088, 32.85393) |
| İstanbul (Asya) | (41.00727, 29.08568) | | |

## Sistematik Nokta Seçimi İçin Yarıçap Değerinin ve Koordinat Katsayılarının Tespiti

Şehirlerin yol ağları ve merkez noktaları incelendiğinde bu noktaların genellikle şehiriçi yol ağlarının da geometrik olarak merkezine yakın bölgelerde olduğu, özellikle şehir planlaması yapılmış şehirlerde net bir şekilde görülebilmektedir. Şehirlerin merkez noktalarından yol ağılarının sonlanmaya başladığı noktalara olan mesafeleri her şehirde farklılık göstermektedir. Seçilen şehirlerin yol ağları incelendiğinde merkez noktasından yol ağının sonlandığı ya da çevre yollarının bulunduğu noktalara olan en kısa kuş uçuşu mesafeler Tablo 12'deki gibidir.

Tablo 12. Şehirlerin merkez noktalarından yol ağlarının sonlandığı ya da çevre yollarının bulunduğu noktalara olan en kısa mesafeler (km).

| **Şehir** | **Mesafe (*r*)** | **Şehir** | **Mesafe (*r*)** |
|---|---|---|---|
| Ankara | 5.314 | Paris | 4.602 |
| Los Angeles | 5.565 | Roma | 6.132 |
| Moskova | 5.104 | Tahran | 7.985 |
| Madrid | 5.302 | Manchester | 6.001 |
| Münih | 6.803 | İstanbul (Asya) | 5.691 |
| Pekin | 6.376 | İstanbul (Avrupa) | 5.294 |
| Birmingham | 4.986 | | |

Bu mesafeler 'Google Maps Cetvel' uygulaması kullanılarak ölçülmüş yaklaşık değerlerdir. Ayrıca her şehirde çevre yolundan sonra yol ağı sonlanmayabilmektedir. Tablo 12'de gözüktüğü gibi yol ağlarının sonlandığı ya da çevre yollarının bulunduğu noktalara olan mesafeler yaklaşık olarak 5 km civarındadır. Londra ve Tokyo gibi bazı şehirlerde bu mesafeler 15 km'yi aşan değerlere ulaşabilmektedir. Fakat tüm şehirler için farklı kuş uçuşu mesafeler seçmek yerine her şehir için standart bir değer seçmek uygun görülmüş bu yüzden sistematik nokta seçimi yaparken kullanılacak

değer sabit $r = 5$ km olarak seçilmiştir. Bu mesafenin harita üzerinde yol ağının dışında kalması gibi durumlarda Google Maps bu noktaya en yakın noktayı yol ağı üzerinde tespit ederek bu noktadan güzergah hesaplamaktadır. Bu durumda kuş uçuşu mesafelerde artma ya da azalmalar meydana gelmektedir. Dolayısıyla gerçek kuş uçuşu mesafeler ölçülerek hesaplamalarda bu değerler dikkate alınmıştır. Tablo 11'de tespit edilen koordinat değerleri ile Tablo 1'deki şablondaki gibi $MÇ_i$ noktaları oluşturulmuş ve $MÇ_i$ noktaları arasındaki kuş uçuşu mesafeler Google Earth uygulamasında hesaplatılmıştır. "Koordinat Katsayıları" bölümünde verilen formüller kullanılarak seçilen şehirler için koordinat katsayıları çizelgesi oluşturulmuştur (Tablo 13).

Tablo 13. Seçilen şehirlerin koordinat katsayıları.

| **Şehir** | **x yönündeki artış (m)** | **y yönündeki artış (m)** | **$k_x$** | **$k_y$** |
|---|---|---|---|---|
| Tokyo | 11086.23 | 9050.26 | 0.090202 | 0.110494 |
| Los Angeles | 11093.61 | 9232.72 | 0.090142 | 0.108310 |
| Paris | 11121.49 | 7337.66 | 0.089916 | 0.136283 |
| Londra | 11128.93 | 6942.73 | 0.089856 | 0.144036 |
| Madrid | 11102.04 | 8487.53 | 0.090074 | 0.117820 |
| Moskova | 11039.00 | 6296.91 | 0.090588 | 0.158808 |
| İstanbul (Avrupa) | 11103.08 | 8406.16 | 0.090065 | 0.118960 |
| İstanbul (Asya) | 11102.39 | 8412.23 | 0.090071 | 0.118875 |
| Roma | 11107.00 | 8296.91 | 0.090033 | 0.120527 |
| Pekin | 11100.08 | 8551.10 | 0.090089 | 0.116944 |
| Tahran | 11095.08 | 9048.90 | 0.090130 | 0.110511 |
| Birmingham | 11126.61 | 6794.45 | 0.089875 | 0.147179 |
| Manchester | 11126.10 | 6639.33 | 0.089879 | 0.150618 |
| Münih | 11114.41 | 7441.82 | 0.089973 | 0.134376 |
| Ankara | 11105.30 | 8548.40 | 0.090047 | 0.116981 |

## Veri ve Rasyonellik Tablolarının Oluşturulması

Radyal olarak sistematik nokta seçimi için $r = 5$ km, $n = 36$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda:

$$\alpha = \frac{360}{n} = \frac{360}{n} = 10° \qquad \alpha_i = \alpha \cdot (i - 1)$$

$\alpha_1 = 0°$, $\alpha_2 = 10°$,.. , $\alpha_{36} = 350°$ olur.

Şehirler için koordinat katsayıları da belirlendikten sonra aşağıdaki formüller yardımıyla her şehir için ayrı ayrı Tablo 15'te Tokyo kenti için örneği verilen tablo oluşturulmuştur.

$$Ç(x_i) = \cos(\alpha_i)\ k_x\ (\frac{r}{10}) + M(x)$$
$$Ç(y_i) = \sin(\alpha_i)\ k_y\ (\frac{r}{10}) + M(y)$$

Tablo 15. Tokyo için MÇ noktaları koordinat değerleri.

| **Şehir: Tokyo** | | | **M(x) :** | | 35.68951 | **x yönündeki artış :** | | 11086.23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **M(y) :** | | 139.691 | **y yönündeki artış :** | | 9050.26 |
| **No** | **M (x, y)** | | **Kuzeyden Açı°** | **r (km)** | $k_x$ | $k_y$ | **Ç ($x_i$,$y_i$)** | |
| | **M(x)** | **M(y)** | | | | | **Ç(x)** | **Ç(y)** |
| 1 | 35.68951 | 139.691 | 0 | 5 | 0.090202 | 0.110494 | 35.73461 | 139.691 |
| 2 | 35.68951 | 139.691 | 10 | 5 | 0.090202 | 0.110494 | 35.73393 | 139.7006 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 36 | 35.68951 | 139.691 | 350 | 5 | 0.090202 | 0.110494 | 35.73393 | 139.6814 |

Bu tablolar sayesinde elde edilen 36 adet $MÇ_i$ noktasının koordinat değeri Google Maps uygulamasına tek tek girilerek güzergahlar hesaplatılıp mesafeler, yolculuk süreleri, alternatif güzergahlar ve gerçek kuş uçuşu değerler tespit edilmiştir (Tablo 16).

Tablo 16. Tokyo için Google Maps uygulamasında hesaplanan güzergahlara ilişkin değerler.

| **Şehir: Tokyo** | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **No** | **$r_g$** | **M-Ç yönündeki güzergahlar** | | | | | | | **Ç-M yönündeki güzergahlar** | | | | | | |
| | | **$d_1$** | **$t_1$** | **$d_2$** | **$t_2$** | **$d_3$** | **$t_3$** | **Alternatif sayısı** | **$d_1$** | **$t_1$** | **$d_2$** | **$t_2$** | **$d_3$** | **$t_3$** | **Alternatif sayısı** |
| 1 | 5.02 | 7.2 | 17 | 6.8 | 26 | | | 2 | 7 | 20 | 7.9 | 27 | | | 2 |
| 2 | 5.02 | 6.8 | 17 | 17.2 | 22 | | | 2 | 6.7 | 16 | 6 | 22 | 6.5 | 24 | 3 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 36 | 5.02 | 7.9 | 20 | 6.6 | 22 | 6.9 | 23 | 3 | 6.2 | 22 | 8.6 | 21 | 6.7 | 22 | 3 |

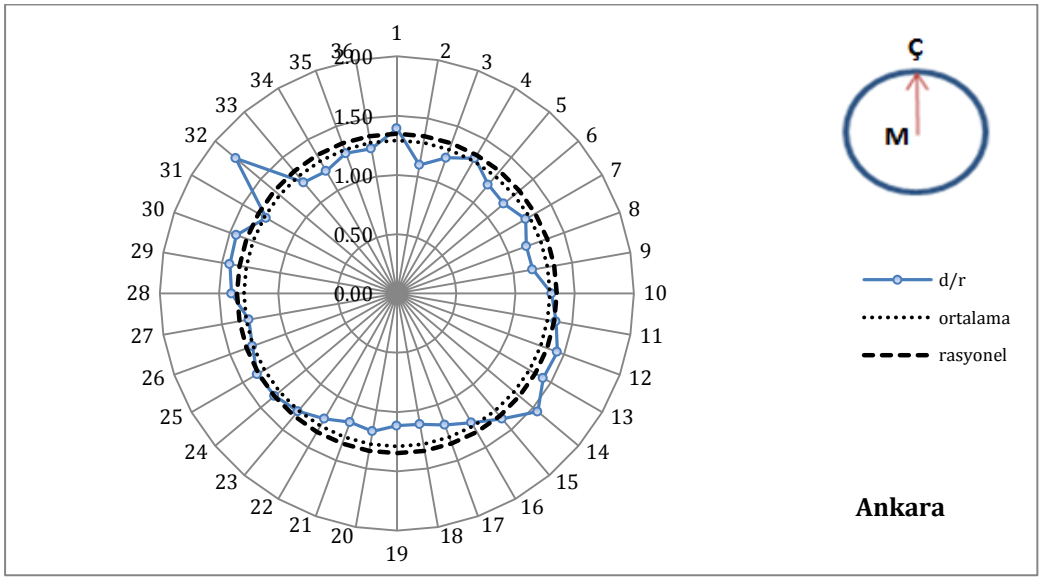
Tablo 16'da her satırda hesaplanan 3 alternatif güzergah arasında en kısa mesafeye sahip olan güzergah belirlenerek $d/r_g$ oranları hesaplatılmıştır. Ayrıca her nokta çifti için kaç alternatif olduğu ve tüm güzergahların ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Böylece tüm şehirler için rasyonellik tabloları oluşturulmuştur (Tablo 17).

Tablo 17. Tokyo için rasyonellik değerleri.

| No | KUM Kriter | | OH Kriteri | | | | | | $V_{ort}$ | AG Kriteri | | KUM-AG Kriteri | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | İçten Dışa | Dıştan İçe | İçten Dışa | | | Dıştan İçe | | | | İçten Dışa | Dıştan İçe | İçten Dışa | Dıştan İçe |
| | $(d_{min})/r$ | $(d_{min})/r$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | | $A_1$ | $A_2$ | | |
| 1 | 1.355 | 1.394 | 25.41 | 15.69 | 0.00 | 21.00 | 17.56 | 0.00 | 19.91 | 2 | 2 | 1.596 | 1.718 |
| 2 | 1.355 | 1.195 | 24.00 | 46.91 | 0.00 | 25.13 | 16.36 | 16.25 | 25.73 | 2 | 3 | 1.596 | 0.739 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 36 | 1.315 | 1.235 | 23.70 | 18.00 | 18.00 | 16.91 | 24.57 | 18.27 | 19.91 | 3 | 3 | 0.983 | 0.821 |
| Ort. | 1.364 | 1.431 | 27.36 | 26.33 | 23.91 | 24.55 | 22.53 | 21.63 | 24.38 | 2.89 | 2.78 | 1.142 | 1.437 |

## Radar Grafiklerin Oluşturulması

Yapılan ölçümlerde güzergah mesafelerinin bazen normalin çok üstünde çıktığı gözlemlenmiştir. Bu güzergahlar incelendiğinde bunun sebebinin nokta çiftlerinden birinin bölünmüş bir yolun ters istikametine denk gelmesi olduğu anlaşılmıştır. Bu durum ölçümler sırasında farkedilemeyebilmektedir. Fakat oluşturulan radar grafiklerde bu hatalar hemen görülebilmektedir. Grafikler oluşturulduktan sonra anormal bir durum varsa tekrar o nokta çiftine dönülerek Google Maps uygulamasında gerekirse noktanın yeri aynı istikametteki yola alınarak düzenlemeler yapılmıştır. Böylece hem kontroller yapılmış hem de sonuçlar görsel hale dönüştürülmüştür. Oluşturulan radar grafiklerde merkez noktanın etrafında harita üzerinde seçilen nokta yönünde; tablolarda bulunan güzergah mesafeleri, ortalama hızlar ve alternatif sayıları ayrı ayrı grafiklerde çizilmiştir. Aynı grafiklere rasyonellik sınır değerleri de çember olarak eklenerek hangi yönlerde bu çemberin aşıldığı gözlemlenebilmektedir. Böylece şehirlerdeki rasyonellikler bölgesel olarak da belirlenebilmektedir. Yine aynı grafiklere o şehir için hesaplanan rasyonellik değerleri de çember olarak eklenmiştir. Bu da grafiğe bakarak bir şehir için rasyonelliğin sağlanıp sağlanmadığını göstermektedir. Örnek olarak Ankara şehri için elde edilmiş bir radar grafik incelenmiştir (Şekil 7).

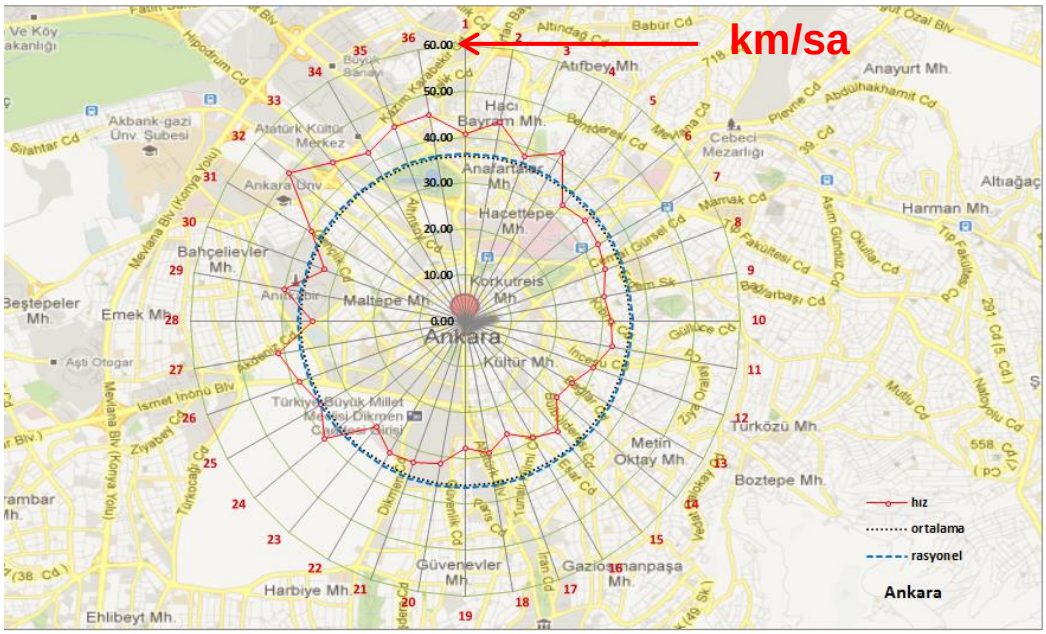



Şekil 7. Ankara için merkezden dışarıya doğru olan bölgesel KUM kriteri rasyonellik sonuçları.

Şekil 7'de verilen radar grafik, Ankara'da seçilen bir noktadan 5 kilometre kuş uçuşu mesafeye sahip 36 noktaya (ayrı ayrı) bir araçla gidebilmek için oluşturulan en kısa güzergahların rasyonelliklerini tek tek vermektedir. Örneğin merkezdeki noktadan 2. noktaya gidilebilecek en kısa güzergahın "rasyonel" isimli çizginin içinde kaldığı için rasyonel, merkezden 14. noktaya gidebilmek için belirlenen en kısa güzergahın ise rasyonel olmadığı söylenebilir. Burada 2. nokta için belirlenen güzergahın rasyonellik değerinin 1.10 civarında bir değer olduğu, yol ağının tüm güzergahların ortalaması alınarak elde edilen rasyonellik değerinin 1.30 civarında olduğu, rasyonellik sınır değerinin ise 1.35 civarında olduğu söylenebilir. Grafik merkezden dışarıya doğru olan yolculuklar için KUM kriterine göre bölgesel olarak rasyonellik sonuçlarını

göstermektedir. Aynı şekilde tüm kriterler için merkezden dışarıya ya da dıştan merkeze doğru olan yolculuklar içinde radar grafikler çizilebilir. Ayrıca merkezden dışa ve dıştan merkeze olarak hesaplanan değerlerin ortalamaları alınarak genel bir radar grafik de oluşturulabilir. Diğer şehirlere ait radar grafikleri, sayfa sınırı nedeniyle burada verilmemektedir. Ancak bütün grafikler Akgöl (2012)'de mevcuttur.

Yine Ankara için oluşturulan bir radar grafik daha iyi anlaşılması için harita üzerine yerleştirerek incelenmiştir (Şekil 8). Ankara şehri için belirlenen 36 nokta sırasıyla radar grafik üzerindeki 36 adet çizginin üzerinde bulunmaktadır. Dolayısıyla harita üzerinde yönler ile grafik üzerindeki yönler aynıdır. Kuzeyde kalan noktaların "rasyonel" isimli çizginin dışında kaldığı görülmektedir. Bu durum merkez olarak seçilen noktanın kuzeyinde kalan güzergahlarda, OH kriteri için belirlenen rasyonellik sınır değerinden daha fazla hız yapılabileceğini yani bu bölgenin daha rasyonel olduğunu ifade etmektedir. Yol ağı için elde edilen OH kriteri değeri ise rasyonellik değerine çok yakın olmakla beraber hemen altında kalmıştır. Yani OH kriterine göre yol ağı rasyonel değildir.




Şekil 8. Ankara için bölgesel Ortalama Hız (OH) kriteri rasyonellik sonuçları(ölçekli).

## Bulgular

Elde edilen bulgular şehiriçi yol ağlarında yapılacak düzenlemelere ve Google Maps uygulamasının güncellenmesine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada kullanılan veriler 2012 yılının Ağustos ayında elde edilmiştir. Tablo 7'de örneği verilen çizelge her şehir için oluşturularak şehirlerin Kuş Uçuşu Mesafe, Ortalama Hız, Alternatif Güzergah kriterlerinin içten dışa (MÇ) ve dıştan içe (ÇM) olarak rasyonellik değerleri hesaplanmıştır. Burada içten dışa ile ulaşımın merkezdeki noktadan çevrede belirlenen noktalara sağlanması durumu, dıştan içe ulaşımın tam tersi yönde sağlanması durumu kastedilmektedir. Dıştan içe ve içten dışa olarak hesaplanan bu iki değerin ortalaması ise o şehrin istenilen kriterdeki rasyonellik değerini vermektedir. Tüm kriterler için ortalamalar alındıktan sonra belirlenen

formül ile tüm kriterlerin bir arada değerlendirildiği ortak rasyonellik değerleri elde edilmiştir (Tablo 18). 'GSMH sıralaması' sütununda verilen değerler 2005 yılına ait bütün dünyadaki şehirler arasında GSMH sıralamasındaki sıra numaralarıdır. Tablo 18'deki değerlere göre şehirler arasında rasyonellik sıralaması yapıldığında Tablo 19 elde edilmektedir. Altı çizili şehirler rasyonellik sınır değerleri içinde, diğerleri ise dışında kalmıştır.

Tablo 18. Çalışılan şehirlere ait tüm rasyonellik değerleri.

| GSMH Sıralaması | Şehirler | KUM Kriteri | AG Kriteri | OH Kriteri | Ortak |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Tokyo | 1.398 | 0.944 | 24.38 | 2.169 |
| 3 | Los Angeles | 1.244 | 0.949 | 37.12 | 1.527 |
| 5 | Paris | 1.290 | 0.977 | 27.59 | 1.752 |
| 6 | Londra | 1.271 | 0.977 | 28.63 | 1.676 |
| 23 | Madrid | 1.455 | 0.907 | 43.70 | 1.843 |
| 25 | Moskova | 1.465 | 0.944 | 36.02 | 1.987 |
| 34 | İstanbul | 1.510 | 0.877 | 28.98 | 2.413 |
| 38 | Roma | 1.516 | 0.949 | 27.02 | 2.374 |
| 44 | Pekin | 1.389 | 0.954 | 30.98 | 1.909 |
| 56 | Tahran | 1.465 | 0.968 | 29.96 | 2.116 |
| 71 | Birmingham | 1.420 | 0.954 | 39.06 | 1.811 |
| 73 | Manchester | 1.246 | 0.940 | 33.48 | 1.554 |
| 83 | Münih | 1.332 | 0.981 | 34.24 | 1.687 |
| 94 | Ankara | 1.301 | 0.986 | 35.91 | 1.582 |

Tablo 19. Şehirlerin rasyonellik sıralamaları.

| Rasyonellik Sıralaması | KUM Kriteri | AG Kriteri | OH Kriteri | Ortak |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **Manchester** | **Ankara** | **Madrid** | **Los Angeles** |
| 2 | **Los Angeles** | **Münih** | **Birmingham** | **Manchester** |
| 3 | **Londra** | **Londra** | **Los Angeles** | **Ankara** |
| 4 | **Paris** | **Paris** | Moskova | **Londra** |
| 5 | **Ankara** | **Tahran** | Ankara | **Münih** |
| 6 | **Münih** | **Pekin** | Münih | **Paris** |
| 7 | Pekin | **Birmingham** | Manchester | **Birmingham** |
| 8 | Tokyo | **Los Angeles** | Pekin | **Madrid** |
| 9 | Birmingham | **Roma** | Tahran | Pekin |
| 10 | Madrid | **Moskova** | İstanbul | Moskova |
| 11 | Moskova | **Tokyo** | Londra | Tahran |
| 12 | Tahran | **Manchester** | Paris | Tokyo |
| 13 | İstanbul | **Madrid** | Roma | Roma |
| 14 | Roma | **İstanbul** | Tokyo | İstanbul |

Tablo 18'deki değerlerin elde edilmesi için belirlenen kuş uçuşu mesafenin 5 km olduğu unutulmamalıdır. Bir şehrin büyüklüğüne göre bu mesafe büyültülerek ya da küçültülerek aynı ölçümler gerçekleştirilebilir. Fakat bir şehrin yol ağının başka bir şehrin yol ağı ile kıyaslanabilmesi için aynı kuş uçuşu mesafelerde ölçüm yapılmış

değerlerin kıyaslanması daha doğru olacaktır. Farklı kuş uçuşu mesafeye sahip güzergahların kıyaslanması için ise böyle bir durum söz konusu değildir. Tablo 19'da tüm kriterlerde rasyonel olan tek şehrin Los Angeles olduğu görülmektedir. Bu durum Zorlu (2008)'in de belirttiği gibi ızgara yaygın çokgen (grid) tipindeki bir yol ağının daha ideal bir yol ağı olduğu görüşünü desteklemektedir. Böyle bir tablonun oluşturulmuş olması ideal tasarlanmış yol ağlarının daha rasyonel sonuçlar verdiğini kanıtlamakta ve önemini göstermektedir. Tabloda İstanbul'un yapılan tüm ölçümlerde son sıralarda yer aldığı ve rasyonel bir yol ağına sahip olmadığı görülmektedir. Bu da İstanbul gibi önemli bir şehrin yol ağında ciddi düzenlemeler yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yapılan kentsel dönüşüm çalışmaları yol ağlarının da yeniden yapılandırılmasına yönelik olmalıdır. Aksi halde ileride tekrar düzenlemelere gidilmesi gerekliliği ortaya çıkacaktır.

## Sonuç

Bu bildiride şehiriçi yol ağlarının rasyonelliklerinin ölçülmesi amacı ile Kuş Uçuşu Mesafe (KUM), Ortalama Hız (OH), Alternatif Güzergah (AG) ve Açısal Sapma (AS) kriterleri oluşturulmuştur. Kuş uçuşu mesafe kriteri ile açısal sapma kriteri farklı yöntemler olsa da aynı sonuçları veren kriterler olduğu için daha pratik olan KUM kriteri ile rasyonellik çalışmaları yürütülmüştür. Böylece şehiriçi yol ağının rasyonelliğini ölçmek için KUM, AG ve OH kriterleri için skalalar ve bu üç kriteri bir arada değerlendirebilmek için de 'Ortak' rasyonellik skalası oluşturulmuştur. Bu skalaların şehirlere tatbik edilebilmeleri için Google Maps uygulamasının koordinat sistemiyle uyumlu bir şekilde çalışacak sistematik nokta seçim yöntemi oluşturulmuştur. Sistematik nokta seçimi yöntemiyle belirlenen 15 şehirde (İstanbul Asya ve Avrupa olarak iki şehir olarak kabul edilmiştir) ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır. Sonuçların yorumlanabilmesi için rasyonellik sınır değerleri elde edilmesi gerekmiştir. Bunun için tasarlanan bir yol ağı üzerinde bazı kabuller dahilinde ve belirlenen kriterlerde ölçümler yapılarak sınır değerleri elde edilmiştir. Şehiriçi yol ağı rasyonellikleri sınır değerlere göre belirlenmiş ve şehirler arasında bir kıyaslama yapma imkanı sağlanmıştır. Şehirlerin yol ağı rasyonellikleri genel olarak belirlendiği gibi bir şehrin bölgesel olarak da yol ağı rasyonellik durumu hem sayısal değerlerle hem de görsel olarak belirlenmiştir. Böylece elde edilen sonuçlar oluşturulan kriterlerin istenilen amacı sağladığını kanıtlamıştır. Literatüre şehir planlaması ile şehiriçi ulaşım planlaması arasında bağ kuracak ve bu ilişkiyi sayısal olarak ölçecek bir yöntem kazandırılmıştır. Bu yöntem bir ülkedeki tüm şehirlerde uygulanarak o ülkedeki ulaşım ile ilgili altyapı çalışması gereken şehirlerin tespiti yapılabilecek hatta bir öncelik sıralaması yapılabilecektir. Şehiriçi trafiğinin yönlendirilmesi ve tek yön uygulamaları kontrol altına alınabilecektir. Yol ağları ile ilgili yapılacak farklı tasarılar arasında sayısal olarak karar verme şansı sağlayacaktır. Özellikle kentsel dönüşüm projelerinin gündemde olduğu ülkemizde, yapılan yeni planlamalarda yol ağlarının bu kriterlere uygun olarak tasarlanması yol ağlarının kalitesini daha da arttıracaktır.

**Teşekkür** Bu çalışmaya 2012.02.0121.024 nolu proje ile verdikleri destekten dolayı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimizi sunarız.

# Kaynaklar


Akgöl, K. (2012) Şehiriçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalalarının (GRS) Oluşturulması ve Örnek Şehirler Üzerinde Denenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chen, A., Yang, H., Lo, H. and Tang, W. (2000) Capacity Reliability of a Road Network: an Assessment Methodology and Numerical Result. Transportation Research Part B 36 (2002), 225-252.

Devlet Planlama Teşkilatı (2001a) "Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu", Ankara.

Devlet Planlama Teşkilatı (2001b) "Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Ankara.

Lynch, K. (1981) A Theory of Good City Form. The MIT Press.

Marshall, S. (2005) Urban Pattern Specification, Institute of Community Studies, London.

Ortuzar, J.D., Willumsen, L.G. (2011) Modelling Transport. Wiley, Chichester, 514 ss.

PricewaterhouseCoopers UK Economic Outlook, March 2007. 15-26.
http://www.pwc.com.tr/tr_TR/tr/assets/ins-sol/publ/largestcityeconomies_march07.pdf

Raveau, S., Guo Z., Munoz J. C. And Wilson N. H. M. (2012) Route Choice Analysis for Metro Networks: A Comparison Between Santiago and London. Energy Efficient Transportation Network. 15. Edition of the Euro Working Group on Transportation International Scientific Conference, 10-13 September, Paris.

TC. Ulaştırma Bakanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi (2005) "Ulaştırma Ana Stratejisi Sonuç Raporu".

The Department of Urban & Regional Planning Ucd & Oscar Faber Transportation (2007) "Transport and Regional Development", Dublin.

TÜBİTAK (2003) "Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi", Ankara.

Wright, C., Gautamkumar, A. and Jarret, D. (1989) Conflict Minimising Traffic Patterns: A Graph-Theoretic Approach to efficient Traffic Circulation In Urban Areas. Transportation Research, v: 23A; 115-127.

Zorlu, F. (2008) Kentsel Doku-Ulaşım Sistemi İlişkileri. METU JFA 2008/1 (25:1), 81-104.