

Işıksız kavşaklardaki anayol araç gecikmelerinin irdelenmesi

Investigation of major stream delays at unsignalized intersections

Süheyla Pelin ÇALIŞKANELLI¹ , Serhan TANYEL^{2*} 

^{1,2}İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
pelin.caliskanelli@deu.edu.tr, serhan.tanyel@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 19.09.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 08.11.2017
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.03342
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Denetimsiz kavşaklardaki araç hareketleri ile ilgili genel kabul, anayol akımı içindeki araçların mutlak önceliğe sahip olmasıdır. Ancak gerçek trafik koşulları altında bu durum her zaman mümkün olmayabilir. Yapılan çalışmalar, yanyolda bekleyen sürücülerin, bekleme süresi uzadıkça kavşağa girişte kural dışı davranışlar sergileyebildiklerini göstermektedir. Bu durumda anayolda hareket eden sürücüler, yavaşlayarak veya durarak olası bir kazayı engellemeye çalışacaklardır. "Ters öncelik" veya "aralık zorlama" olarak ta adlandırılan bu durum anayol akımındaki araçların gecikmelerine sebep olmaktadır. Çalışmada anayol akımındaki araçların gecikmesine sebep olan koşullar incelenmiş ve AIMSUN benzetim programı yardımıyla bir "T" kavşakta DUR, YOL VER ve KONTROLSÜZ denetim koşulları için anayol araçlarının gecikmelerini hesaplayan bağıntılar önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Işıksız kavşaklar, Kapasite, Gecikme, Ters öncelik

Abstract

The general acceptance of vehicle movements at unsignalized intersections is that vehicles in the major stream have absolute priority. However, under real traffic conditions this may not always be possible. Studies show that drivers waiting on the minor road approach can exhibit irregular behaviors when entering the intersection. In this case the drivers on the main road will try to prevent a possible accident by stopping or slowing down. This is referred to as "reverse priority" or "gap forcing" which causes delays in vehicles in the major stream. In the study, the conditions which causes delay to vehicles in the mainstream is investigated by using AIMSUN simulation program and new functions for stop-controlled, yield-controlled and uncontrolled intersections which can be used in calculation major stream delays are suggested.

Keywords: Unsignalized intersections, Capacity, Delay, Reverse priority

1 Giriş

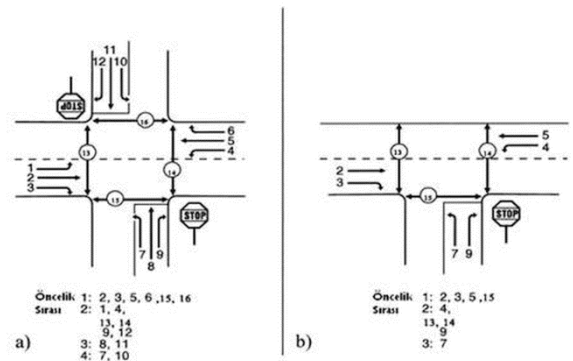
Işıksız eşdüzey kavşakların düzenlenmesinde, kavşağa bağlanan yollardan birisi, hacim ya da geometrik özelliklerine göre diğerlerinden daha önemli kabul edilir ve "anayol" adını alır; diğeri ise yanyol olarak adlandırılır [1]. Bu iki akım arasındaki etkileşimler genel olarak, "DUR" ve "YOL VER" işaretleri ile yönlendirilmeye çalışılır:

- "DUR" kontrollü kavşaklarda (stop controlled intersections) yanyoldan gelen sürücüler, anayolda hiç araç bulunmasa bile durmak, yolu kontrol etmek ve yol boş ise kavşağa girmek zorundadırlar. Bu tür kavşaklar iki türlü tasarlanmaktadır,
 - a. İki yönlü durma kontrollü kavşaklar (two-way stop controlled intersections),
 - b. Tüm yönlerde durma kontrollü kavşaklar (all-way stop controlled intersections),
- "YOL VER" kontrollü kavşaklarda (give-way controlled intersections) ise yanyoldan gelen sürücüler, yavaşlayarak anayolda araç bulunup bulunmadığını kontrol etmek zorundadırlar.

Işıksız bir kavşakta bir yanyol bağlantısının başarımı büyük ölçüde, yanyoldaki sürücülerin anayoldaki araçlar arasında buldukları aralıkları değerlendirerek kavşağa güvenli bir giriş yapmalarına bağlıdır. Yanyoldan kavşağa yaklaşan sürücü kavşağa daha önce giriş yapmış bir anayol sürücüsü varsa bu taşıtın kavşağı boşaltmasını bekleyecek ve bir sonraki anayol taşıtını gözlemleyecektir. İki anayol sürücüsü arasındaki bu aralık, yanyol sürücülerini için "araya giriş" (GAP) aralığı olarak

tanımlanır. Yanyol sürücüsü, kavşağa geldiğinde kavşakta taşıt yok fakat anayolda yaklaşmakta olan bir taşıt var ise anayoldaki taşıt ile arasındaki uzaklığın yapmak istediği manevra için yeterli olup olmadığına karar verip kavşağa bu koşul altında giriş yapar. Bu durumda da anayol taşıtının kavşağa, dolayısıyla yanyol taşıtına olan uzaklığına "öne giriş" (LAG) aralığı adı verilir [1]. Literatürde bu iki aralık değeri de tanımlanmaktaysa da; genel olarak hesaplamalarda birlikte değerlendirilmeleri anlamlı bir farklılık yaratmamaktadır.

Işıksız bir kavşağın kapasitesi ve başarımının hesaplanmasında, kavşağa gelen araçlar arasındaki manevra önceliği büyük önem taşımaktadır. Bu manevra öncelikleri, "DUR" kontrollü kavşaklar için Şekil 1'de gösterilmiş ve aşağıda kısaca açıklanmıştır [2]:



Şekil 1: "DUR" kontrollü kavşaklarda hareket öncelikleri [2].

1. Öncelikli Araçlar: Doğru geçen ve sağa dönen anayol araçları kavşakta en büyük geçiş hakkına sahip olan

araçlardır. Bu araçların kavşakta hiçbir gecikmeye uğramadığı kabul edilir,

2. Öncelikli Araçlar: Sola dönen anayol araçları ve sağa dönen yanyol araçları kavşak noktasında ikinci öncelikli araçlardır,
3. Öncelikli Araçlar: Yanyoldan gelerek doğru geçiş yapacak araçlar kavşakta üçüncü öncelikli araçlardır,
4. Öncelikli Araçlar: Sola dönüş yapacak olan yanyol taşıtları, bütün anayol taşıtlarına ve yanyol taşıtlarına öncelik vermek zorundadır [2].

Işıksız kavşakların kapasite ve başarımın belirlenmesinde yapılan temel kabul, anaakım içindeki araçların mutlak önceliği sahip olmasıdır. Bu durum, hesaplamalarda önemli kolaylıklar sağlamasına rağmen, gerçek trafik koşulları altında tamamen geçerli değildir. Yapılan incelemeler kavşaktaki araç etkileşimleri sonucunda, ana akımdaki araçların da belirli bir oranda gecikmeye uğrayabildiklerini göstermektedir. Her ne kadar, ışısız kavşakların DUR veya YOL VER levhaları ile yönetilmesi uluslararası kabul görmüş bir yöntem olsa da, günümüzde, özellikle ülkemizde, bu işaret levhalarının bulunmadığı veya yol kademelenmesi dikkate alınmayarak yerleştirildiği uygulamalara sıklıkla rastlanmaktadır. Ana akımdaki gecikmeler, özellikle bu tür yol kademelenmesinin tanımlı olmadığı ve/veya yanlış ve eksik işaretlemelerin bulunduğu kavşaklarda gözlemlenmektedir. Ana akımdaki taşıtların gecikmeleri üç şekilde meydana gelebilir:

1. Anaakım içinde sağa dönüş yapan araçların, bu manevrayı gerçekleştirirken yavaşlamaları sonucunda,
2. Ananakım içinden sola dönüş yapan araçların, bu hareketi gerçekleştirebilmek için yavaşlamaları ve/veya durmaları sonucunda,
3. Öncelik sırası daha düşük olan sürücülerin(yanyol sürücülerini), anaakım içinde beklenenden daha kısa aralıkları kabul etmeleri ve anaakımdaki araçları yavaşlamaya veya durmaya zorlamaları sonucunda.

Stover ve diğ. [3] sağa dönen anayol araçlarının arkalarından gelen taşıtların gecikmelerine etkisini incelemiştir. Çalışmada, anayol trafik hacmindeki artışın, sağa dönen taşıtlardan kaynaklanan anaakım gecikmelerini ve yakıt tüketimini üstel olarak arttırdığı belirlenmiştir. Alexander [4], anaakımdaki sağa dönen araçlardan kaynaklanan gecikmeleri incelediği çalışmada, gözlemlerden yola çıkarak, sağa dönen taşıtlara bağlı olarak anaakımdaki araçların ortalama gecikmeleri için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$D_{ana} = -219 + 2.15Q_r + 0.37Q_{ana} + 4.33U_{ana} \quad (1)$$

Burada, D_{ana} , anaakımdan doğru geçiş yapan araçlara ait gecikme değerini (sn.); Q_r , sağa dönen akım oranını (araç/sa.); Q_{ana} , anayoldaki akım oranını (araç/sa.) ve U_{ana} ise anaakımdaki araçların ortalama seyir hızlarını (m/sn.) göstermektedir.

McShane [5] çalışmada, bir benzetim programı kullanarak sağa dönen araç sayısına bağlı olarak, anaakımdaki araçların hızlarındaki değişimi belirlemeye çalışmıştır. Bonneson [6], anayol üzerinde sağa dönen araçların doğru geçiş yapacak araçlar üzerinde sebep oldukları gecikmenin hesaplanması için bir model geliştirmiştir. Çalışma sonucunda, sağa dönüş oranının artması ile gecikmenin arttığı ancak sağa dönüş oranının çok küçük olması durumunda anayol üzerindeki seyahat hızında belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Akgüngör ve diğ. [7], sağa dönen araçlardan kaynaklanan anaakım gecikme hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

$$D_{ana} = -146.858 + 0.102U + 177.475AV + 0.164Q + 73.569SD \quad (2)$$

Burada, U ; hız (mil/sa.); AV , ağır araç oranı (%); Q , trafik hacmi (araç/sa.) ve SD , sağa dönen araç oranıdır (%).

Sola dönen araçlarla ilgili kapsamlı çalışmalar Bonneson ve McCoy [8] ile Bonneson ve Fitts [9] tarafından yapılmıştır. Çalışmalarda, sola dönen araçlardan kaynaklanan anaakım gecikmeleri, dört farklı yöntem kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Çalışmaların en önemli kabullerinden biri, sola dönüş yapılan yaklaşımda ya sola dönüş cebinin bulunduğu ya da yaklaşımın iki şeritten meydana geldiğidir. Bu kabule göre, anayoldan sola dönüş yapmak isteyen araçların arkasındaki doğru gidecek sürücüler, diğer şeride kayarak o şeritteki sürücülerin de gecikmesine sebep olabilmektedir. Eğer anayolda sadece tek şerit varsa (sola dönüş cebinin de olmaması durumunda), anayoldaki araçların gecikmeleri doğrudan sola dönüş yapacak araçların gecikmelerine bağlı olacaktır.

Anayoldaki araçların gecikmeleri üzerine yapılmış en detaylı çalışmalar ise "ters öncelik" veya "aralık zorlama" üzerine yapılmış olan çalışmalardır [10]-[15]. Yapılan çalışmalar, yanyolda bekleyen sürücülerin, bekleme süresi uzadıkça kavşağa girişte kural dışı davranışlar sergileyebildiklerini göstermektedir. Bu durumda ise anayolda hareket eden sürücüler, yavaşlayarak veya durarak olası bir kazayı engellemeye çalışacaklardır. Bu durum genelde dölal kavşaklar ve çevreyolu katılımları için incelenmiş olsa da, her tür kontrolsüz kavşak için dikkate alınması gereken önemli bir parametre olarak kabul edilebilir.

Anayoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin Cowan M3 dağılımı ile modellenebileceği kabulüyle, sinyalizasyon olmayan bir kavşaktaki yanyol akımının kapasitesi aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir [14]:

$$q_e = \frac{\alpha q_c e^{-\lambda(T-\Delta)}}{\lambda T_0} \quad (3)$$

Burada, q_e , yanyol kapasitesi (araç/sn.); q_c , anayol akımını (araç/sn.), T , yanyoldaki sürücülere ait kritik aralık kabulü değerini (sn.), T_0 yanyoldan giriş yapan araçlar arasındaki en küçük zaman cinsinden takip aralığını (sn.) ve Δ , anayoldaki araçlar arasındaki en küçük zaman aralığı değerini (sn.), α ise anayolda birbirinden bağımsız hareket eden araç oranını ifade etmektedirler. Bağıntıda yer alan " λ " ise Cowan M3 dağılımına ait bir azaltma parametresi olup aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\lambda = \frac{\alpha q_c}{1 - \Delta q_c} \quad (4)$$

Yapılan çalışmalar, yanyoldan kavşağa giriş için bekleyen sürücülere ait gecikme süresi arttıkça, sürücülerin kabul edecekleri kritik aralık kabul değerinin (T) azaldığını göstermiştir [14]. Gedizlioğlu [1] ve Gedizlioğlu ve Yayla [16] çalışmalarında, Türk sürücülerin kontrolsüz kavşaklarda nispeten daha kısa kısa zaman cinsinden aralıkları kabul ettiklerini belirtmişlerdir. Troutbeck, kavşak yaklaşımından önce ve yanyol katılımında, yanyoldan giriş yapan araçlar sebebiyle, anayoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların dağılımlarının bir miktar birbirlerinden farklılık

göstereceklerini vurgulamıştır [11],[12]. Bu fark aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan "C" parametresi kadardır:

$$C = \frac{1 - e^{-\lambda T_0}}{[1 - e^{-\lambda(T-\Delta)} - \lambda(T - T_0 - \Delta)e^{-\lambda(T-\Delta)}]} \quad (5)$$

Buna göre, ters öncelik koşulunda yanyol kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_e = \frac{\alpha C q_c e^{-\lambda(T-\Delta)}}{\lambda T_0} \quad (6)$$

Burada önemle vurgulanması gereken bir husus, "C" parametresinin "1"e eşit veya küçük olduğudur. Bu da, ters öncelik koşullarında yanyoldan giriş yapan sürücülerin saldırgan davranışlarının beklenildiğinin aksine yanyol kapasitesinde bir düşüş meydana getirdiğini göstermektedir. Tanyel ve Yayla [17] çok şeritli yuvarlakada kavşaklarda yaptıkları gözlemlerden benzer bir sonuca ulaşmışlardır. Yanyol sürücülerinin saldırgan sürüş özelliklerinden kaynaklanan ters öncelik durumunda, yanyol kapasitesinde düşüş görülmekte bunun yanı sıra anayoldaki araçlar da gecikmeye maruz kalmaktadır. Bu durum tüm kavşak başarımını olumsuz yönde etkilemektedir. Troutbeck anayoldaki araçların gecikmelerinin aşağıdaki şekilde hesaplanabileceğini göstermiştir [11]:

$$D_{ana} = [1 - P(0)] \frac{T_0 + \Delta - T}{2} \quad (7)$$

Burada, $P(0)$, yanyoldan kavşağa giren araçlar nedeniyle anayol akımının gecikmeme olasılığı olup aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$P(0) = \frac{1 - e^{-\lambda(T-\Delta)}}{[1 - e^{-\lambda(T-\Delta)} - \lambda(T - T_0 - \Delta)e^{-\lambda(T-\Delta)}]} \quad (8)$$

Sağa dönen araçlardan kaynaklanan anaakım gecikmeleri birkaç sn. 5~6 dk. kadar değişiklik gösterebilmektedir [7]. Sola dönen araçlara ait gecikmelerin ise, sola dönüş yapılan kolda dönüş cebi veya birden fazla şerit bulunması durumunda araç başına 5 sn. daha düşük olacağı görülmüştür [9]. Ancak, sola dönen araçlarla doğru geçiş yapacak araçların aynı şeridi paylaşmaları durumunda sola dönüşten kaynaklanan gecikmelerin daha büyük değerlere ulaşabileceği açıktır. Ters öncelik koşulunda ise, bağıntı (7)'den de anlaşılabilen üzere anaakımdaki araçların gecikmeleri, anaakımın özelliklerine ve yanyoldan giriş yapan sürücülerin en küçük takip aralığı değerine bağlıdır. Yanyoldaki sürücülerin kabul ettikleri aralık değerleri düştükçe anaakımdaki gecikmeler de artmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi, anaakımdaki araçlara ait gecikmeler, üç değişik koşula bağlı olarak meydana gelmekte ve bunlara bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Denetimsiz kavşaklardaki gerçeek anayol gecikmeleri olağan trafik şartları altında birkaç koşula aynı anda bağlı olarak olmaktadır ve koşulların birlikte gözlemlenebilmesi ancak sürücülerin "DUR" veya "YOL VER" işaretlerine dolayısıyla trafik kurallarına uymaması ile mümkün olabilir. Tamamen kontrolsüz kavşaklarda ise anayoldaki ve yanyoldaki araçlar arasında belirgin bir geçiş üstünlüğü tanımlanmadığından anayoldaki sürücülerin "DUR" ve "YOL VER" kontrollü kavşaklara oranla daha uzun gecikmelere maruz kalacakları beklenebilir.

Farklı trafik akım taleplerinde, farklı gecikme değerleri gözlemlenebileceği açıktır. Ancak trafik talebinin koşullarının önemli değişiklikler gösterdiği örnek sinyalizasyon olmayan kavşak bulunması oldukça güçtür. Bu nedenle çalışma kapsamında belirlenen örnek kavşaklardan elde edilen veriler kullanılarak AIMSUN benzetim programı ölçeklendirilerek farklı kontrol koşulları (DUR, YOL VER veya tamamen kontrolsüz) ve trafik talep değerleri için bir "T" kavşak üzerinde, anayol gecikmeleri hesaplanmış; elde edilen sonuçlardan yararlanarak deneysel anaakım gecikme bağıntıları elde edilmiştir.

2 Benzetim modeli kurgusu

Çalışmada AIMSUN programı kullanılarak, bir "T" kavşak üzerinde anaakım gecikmeleri ve etki eden faktörler incelenmeye çalışılmıştır. Benzetim programları, programı hazırlayan proje ekibi tarafından belirlenmiş olan bazı kabuller doğrultusunda çalışılır. Bu kabuller, çoğu zaman incelenen sistemin özelliklerini tam anlamıyla yansıtan sonuçlar vermeyebilirler. Bu durumda, program sonuçlarının geçerliliğinin ispatlanabilmesi için bazı parametrelerin kullanıcılar tarafından bir ölçeklendirme işlemine (kalibrasyon çalışmasına) tabi tutulmaları gerekmektedir.

Kavşaklarda, benzetim modellerinin gerçeekçi sonuçlar verip vermediğinin kontrolü amacıyla her yaklaşıma ait gecikme ve/veya kuyruk uzunluğu değerleri toplanabilmektedir. Çalışma kapsamında denetimsiz kavşak koşullarının modellenmesinde gerekli kalibrasyonun yapılabilmesi için İzmir Narlıdere (1 adet) ve Buca'da (2 adet) bulunan üç kavşakta gözlemler yapılmış; bu kavşaklardan elde edilen veriler kullanılarak AIMSUN programında kavşaklar modellenmiş, benzetim modelinden gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri elde edilmiştir. Üç kavşağın genel görünümleri Şekil 2'de, kavşaklara ait bazı özellikler ise Tablo 1'de sunulmaktadır.

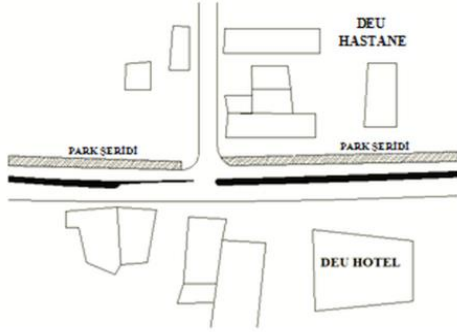
Tablo 1: Çalışmada veri elde edilen kavşaklara ait bazı özellikler.

Kontrol Tipi	Kavşak Adı	Yaklaşım Adı	Giriş Şeridi Sayısı (n _e)	Giriş Şeridi Genişliği (w _e) (m)	Ada Genişliği (w _{median}) (m)	Dönüş Şeridi	Dönüş Cebi
Dur Kontrollü	DEÜ Hastanesi	Narlıdere	2	6.6	2.8	SLD(30m)	--
		Fahrettin Altay	2	6.6	3.5	--	--
		DEÜ Hastane	1	3.0	1.5	--	--
Kontrolsüz	Buca Mezarlığı	DEÜ Hukuk Fakültesi	1	3.5	1.6	--	--
		DEÜ Tınaztepe Kamp.	1	3.0	1.6	--	--
		Esil Yurdu	2	5.7	2.0	--	--
		Buca Mezarlığı	1	3.0	--	--	SD
Yol-Ver Kontrollü	Dokuzçeşmeler	Kasaplar Çarşısı	1	3.6	--	--	--
		DEÜ Tınaztepe Kamp.	1	3.6	2.4	--	--
		Üçkuyular	1	3.0	--	--	--
		Dokuzçeşmeler	1	3.0	1.6	--	--

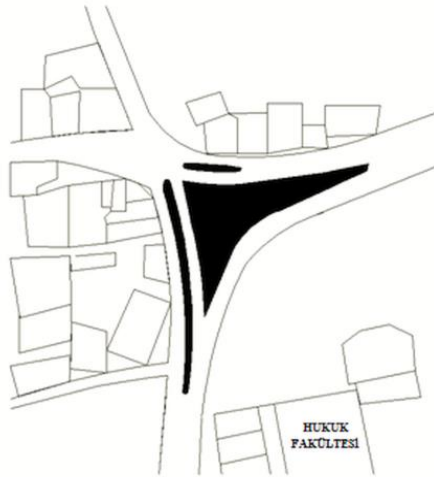
Buca Mezarlık kavşağında 65 dk. Buca Dokuzçeşmeler kavşağında 80 dk. Dokuz Eylül Hastane Kavşağında 55 dk. her yönde video kamera gözlemi yapılmıştır. Veri sayısını artırmak amacıyla gözlemler 5'er dk. kaydırılmak suretiyle 15'er dk. veri grupları oluşturulmuş (0-15 dk. 5-20 dk. 10-25 dk. aralıkları vb.) ve böylece toplam 127 adet gecikme ve kuyruk uzunluğu verisi elde edilmiştir.

Kavşakların ölçeklendirilmesi aşamasında, kavşak geometrisi tanımlanmış; trafik akımı içinde bulunan taşıt kompozisyonu belirlenerek her taşıt türüne ait karakteristikler sisteme girilmiştir. Sürücülerine ait reaksiyon süreleri, yanyoldan kavşağa katılan sürücülerin kritik aralık kabul değerini etkileyen bir parametredir. Bu sebeple sürücü davranışlarının

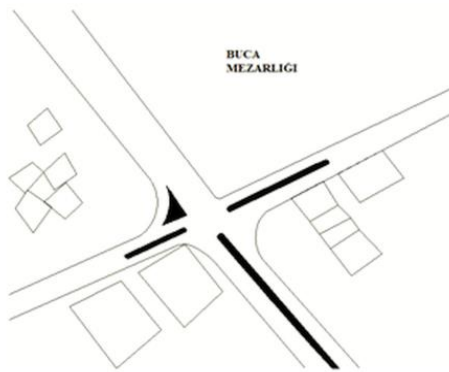
modellenmesi amacıyla reaksiyon değerleri değiştirilerek denemeler yapılmış ve sürücü reaksiyon sürelerinin duran sürücüler için 1.2 sn. alınabileceği; hareket halindeki sürücüler için programda tanımlanmış değer olan 0.75 sn. alınmasının uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Simülasyonlar, gözlemlenen farklı trafik akım değerleri için hazırlanmış; analiz sonucunda her bir kavşağa ve kavşak yaklaşımına ait gecikmeler ve kuyruk uzunlukları tespit edilmiştir. Söz konusu işlemler her aşama için yirmi kez tekrarlanmış ve yirmi tekrarın ortalaması alınarak elde edilen değerler araziden toplanan gerçek verilerle karşılaştırılmıştır.



a) Dokuz Eylül Hastanesi Kavşağı



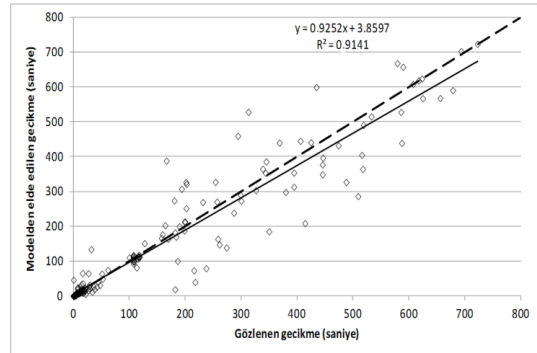
b) Buca Dokuzçesmeler Kavşağı



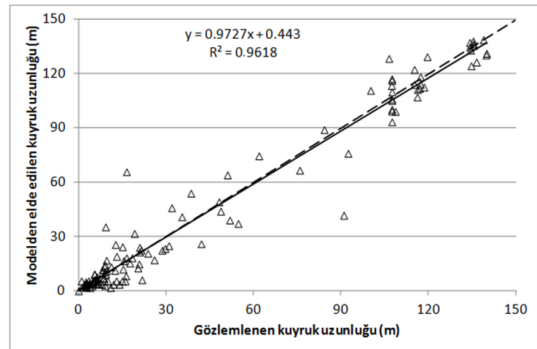
c) Buca Mezarlığı Kavşağı

Şekil 2: İncelenen kavşakların şematik görünümü.

Şekil 3'te gözlenen ve benzetim programından hesaplanan gecikme değerlerinin, Şekil 4'te ise gözlenen ve benzetim programından bulunan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. Şekillerde bulunan sürekli çizgiler, gözlenen ve benzetim programından elde edilen sonuçlar arasında yapılmış olan doğrusal regresyon analiz sonuçlarını göstermektedir. Kesikli çizgiler ise, ideal yani gözlenen gecikmelerle benzetim programından elde edilmiş olan gecikmelerin aynı olma koşullarını gösteren bir doğrudur. Her iki doğru birbirine ne denli yakınsa model o kadar başarılıdır denilebilir. Ayrıca, sabit sayının sıfıra, bağımsız değişkene ait katsayının ise "1"e yakın olması beklenir. Şekiller incelendiğinde, kalibrasyon sonucunda gözlemlerden elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin, benzetim programı sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3: Gözlemlenen ve benzetim programından elde edilen gecikmelerin karşılaştırılması.



Şekil 4: Gözlemlenen ve benzetim programından elde edilen kuyruk uzunluklarının karşılaştırılması.

Kalibrasyon aşamasında yapılan irdelemeler ve analizler sonucunda elde edilen deneyimler doğrultusunda, çalışma kapsamında farklı senaryolar üretilmesi amacıyla bir "T" kavşak tasarlanmıştır. Benzetim programına temel alınan kavşak örneği Şekil 5'te sunulmaktadır.



Şekil 5: Benzetim Programında kullanılan kavşak örneği.

şekilden de görülebildiği gibi, denetimsiz eşdüzey T kavşaklar bölünmemiş ve tek şeritli olarak tasarlanmıştır. şerit genişlikleri 3.6 m, yaklaşım eğimleri %0, ideal doygun akım değeri 1900 araç/sa. ve zirve sa. faktörü 0.92 alınmıştır. Trafik akımındaki tüm araçların otomobil olduğu kabul edilmiştir. Araçların sağa dönüş hız değeri 15 km/sa. sola dönüş hız değeri ise 25 km/sa. kabul edilmiştir [18]. Kavşakta yaya hareketi ve otobüs durağı bulunmamaktadır. Ayrıca, yol kenarında araçların park yapmasına izin verilmediği; orta refüj ve ada olmadığı varsayılmıştır.

Kavşak modelleri üzerinde trafik hacmi her yön için, diğer yönlerin hacimleri sabit tutularak sıfırdan başlayıp yüzer artırılarak 1200 araç/sa. trafik hacmine kadar sistem çalıştırılmıştır. Her hacim değeri için sistem, yanyoldan anayol yaklaşımına girişin ve tüm dönüş manevralarının serbest olarak yapılması (trafik işaretinin bulunmaması); YOL VER ve DUR işaretlerinin bulunduğu koşullar öngörülerek çalıştırılmıştır. Her kontrol şekli ve trafik hacmi için program 20 tekrar yapacak şekilde çalıştırılmış ve sonuçların ortalaması alınarak veri grupları oluşturulmuştur.

3 Benzetim programı sonuçlarının değerlendirilmesi

Sinyalize olmayan kavşaklarda anaakım araçlarının gecikmelerinin modellenmesinde, benzetim programı çıktılarından yararlanarak, tamamen kontrolsüz, DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklar için birer çoklu regresyon modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. İlk aşama olarak, batı yaklaşımındaki araçlara ait gecikme değerleri modellenmeye çalışılmıştır. Modeller ilk olarak gecikme üzerinde etken olabilecek tüm parametreler dikkate alınarak elde edilmeye çalışılmıştır:

- $Q_{batı}$, batı yönünden kavşağa gelen talep (araç/sa.),
- $Q_{doğu}$, doğu yönünden kavşağa gelen talep (araç/sa.),
- $Q_{egüney}$, güney yaklaşımından kavşağa giriş yapmış olan araç sayısı (araç/sa.),
- $\%SD_{batı}$, batı yaklaşımından sağa dönüş yapan araç yüzdesi,
- $\%SLD_{doğu}$ doğu yönünden sola dönüş yapan araç yüzdesi,
- $\%SD_{batı}$ ve $\%SLD_{doğu}$ değerleri analizlerde tam sayı olarak alınmıştır (%25 için 25 vb.).

Yapılan regresyon analizi sonucunda DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda, batı yaklaşımına ait ana yol gecikmesi üzerinde sadece batı yönünden gelen trafik akımına ($Q_{batı}$) ve aynı yaklaşımdan sağa dönen taşıt oranına ($\%SD_{batı}$) ait t-istatistikleri ile P değerlerinin anlamlı olduğu görülmüştür (t-istatistikleri 2'den anlamlı oranda büyük ve P değerleri ise 0.05'in altındadır). Buna göre DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda, batı yaklaşımına ait ana yol gecikmesinin yanyoldan giren taşıt oranının daha çok, anayoldan sağa dönüş yapan araçların yavaşlanalarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Doğu yönünden gelen trafik akımının, batı yönünden gelen ve sağa dönüş yapan araçlar sebebiyle batı akımında doğu gidecek araçlarda meydana getirdiği gecikmeler üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür.

Buna göre, DUR kontrollü kavşağın batı yaklaşımına ait gecikme değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$D_{batı} = -4.305 + 0.014Q_{batı} + 0.059\%SD_{batı} \quad (9)$$

Tablo 2'den de görülebileceği gibi YOL VER kontrollü kavşağın batı yaklaşımına ait gecikme bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$D_{batı} = -3.824 + 0.013Q_{batı} + 0.056\%SD_{batı} \quad (10)$$

Bağıntılarda $D_{batı}$, batı yaklaşımına ait anayol gecikmesini (sn.) ifade etmektedir.

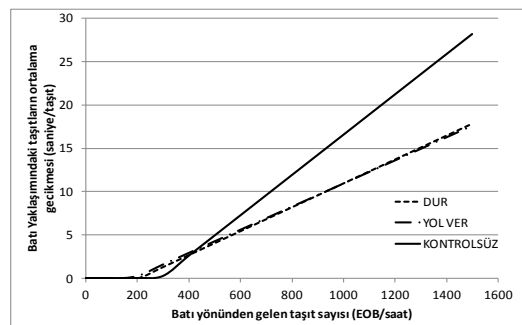
Hem DUR, hem de YOL VER kontrollü kavşaklarda, yanyoldan kavşağa yaklaşan sürücüler anayoldaki taşıtlara yol vermek zorundadır. Dolayısıyla yanyol trafik akımının, anayoldaki gecikme üzerinde etkili olması beklenmemektedir. Ancak tamamen kontrolsüz kavşaklarda, anayol-yanyol ayrımı tam olarak tanımlı olmadığından, anayol taşıtları, yanyoldan giriş yapacak taşıtlar tarafından gecikmeye maruz kalabileceklerdir. Ülkemizde bu durum, nerdeyse tüm ışksız kavşaklarda görülmektedir. Nitekim, tamamen kontrolsüz kavşak için elde edilen bağıntıda, yanyoldan gelen taşıt sayısının ($Q_{güney}$) da etkili olduğu görülmektedir:

$$D_{batı} = -15.657 + 0.026Q_{batı} + 0.118\%SD_{batı} + 0.011Q_{egüney} \quad (11)$$

Tablo 2: Batı yaklaşımına ait regresyon analiz sonuçları.

		Kavşak Türü		
		Kontrolsüz	Dur	Yol ver
Model İstatistikleri	r	0.759	0.895	0.889
	R²	0.574	0.801	0.791
	Düz R²	0.558	0.795	0.786
Sabit Terim	β	-15.657	-4.305	-3.824
	t	-5.19	-7.11	-6.34
	p	0.000	0.000	0.000
Q_{batı}	β	0.026	0.014	0.013
	t	7.72	14.11	13.74
	p	0.000	0.000	0.000
%SD batı	β	0.118	0.059	0.058
	t	2.63	4.41	4.27
	p	0.000	0.000	0.000
Q_{e güney}	β	0.011	--	--
	t	2.08	--	--
	p	0.041	--	--

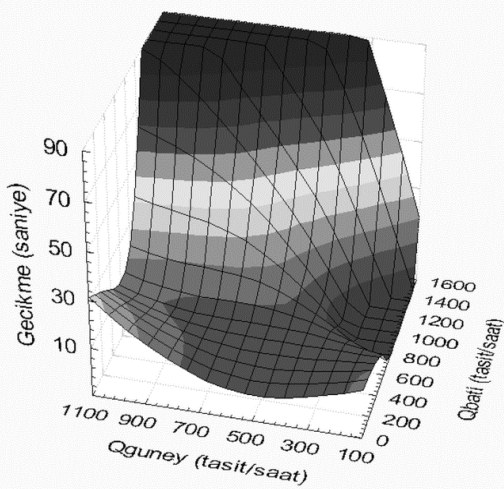
Batı yaklaşımı hacminin 0~1200 taşıt/sa. aralığında değiştiği, güney yaklaşımından taşıt gelmediği ve batı yönünden sağa dönen araç oranının ise %25 olduğu kabul edilerek (9), (10) ve (11) bağıntıları karşılaştırılmıştır (şekil 6).



şekil 6: Batı yaklaşımı için anayol gecikme modellerinin karşılaştırılması.

şekil 6 incelendiğinde, DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda batı yönünden sağa dönen taşıtlar sebebiyle oluşan gecikme değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görölmektedir. Diğer yandan tamamen kontrolsüz kavşakta batı yaklaşımına ait gecikme değerlerinin 300 taşıt/sa. değerine kadar DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklara oranla daha düşük olduğu ancak bu değerin üstündeki değerlerde gecikmenin hızla arttığı sonucu elde edilmiştir. Tüm kavşak türlerinde, ana akım trafik hacmi arttıkça yanyoldan giriş yapan sürücülerin daha küçük aralıkları kabul ederek kavşağa giriş yaptıkları ve buna bağlı olarak ana akımda gecikmeye yol açtıkları söylenebilir. Ancak, DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda, yanyol akımı içinde yer alan sürücülerin belirli oranda kuralara uyararak kavşağa girdikleri anlaşılmaktadır. Kontrolsüz kavşaklarda ise, yanyoldaki taşıtların ana akımdaki bir aralığı kabul etmeleri durumunda, sürekli olarak kavşağa girmeye çalıştıkları benzetim programında gözlemlenmiştir. Bu durum, arazide yapılan gözlemlere de uymaktadır. Diğer bir değişle DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda daha çok "aralık zorlama", kontrolsüz kavşaklarda ise daha çok geçici "ters öncelik" davranışı ortaya çıkmaktadır.

Güney yaklaşımından gelen taşıtların, batı yaklaşımı üzerindeki etkisi ise şekil 7'den görölebilmektedir. şekilden de görölebileceği gibi, güney yönünden gelen taşıt sayısı arttıkça, anayol gecikmesi de artmaktadır. Diğer yandan, güney yaklaşımından gelen talebin çok düşük olduğu (<100 taşıt/sa.) koşulda, anayolda herhangi bir gecikme olmamaktadır. Anayol ve yanyol talepleri ve dolayısıyla etkileşimleri arttıkça, anayol gecikme değerleri de artmaktadır.



şekil 7: Kontrolsüz kavşak için anayol gecikmesinin batı ve güney yaklaşım taleplerine bağlı değişimi.

Tablo 3'te Doğu yaklaşımına ait gecikme modelleri görölmektedir. Modeller incelendiğinde, her üç kavşak türü için de batı yaklaşımı talebinin ($Q_{batı}$); batı yaklaşımından sağa dönen taşıt yüzdesinin ($\%SD_{batı}$) ve doğu yaklaşımından sola dönüş oranının ($\%SLD_{doğu}$), doğu yaklaşımının gecikmesinde etkili olduğu görölmektedir. Bağıntılar incelendiğinde, doğu yaklaşımındaki araçların maruz kaldıkları gecikmeler üzerinde batı yaklaşımından sağa dönüş yapan araç yüzdesinin daha etkin olduğu anlaşılmaktadır. Bu da, kavşak tamamen kontrolsüz olarak çalıştığında bile özellikle sola dönüş yapan sürücülerin, herhangi bir kaza meydana gelmemesi için engelleyici akımdaki araçlara öncelik tanıdıkları anlaşılmaktadır.

Tablo 3: Doğu yaklaşımına ait regresyon analizi sonuçları.

Model	Kavşak Türü			
	Kontrolsüz	DUR	Yol Ver	
Model istatistikleri	r	0.763	0.765	0.756
	R^2	0.582	0.585	0.572
	$Düz R^2$	0.565	0.566	0.554
Sabit Terim	β	-361.80	-285.22	-275.00
	t	-7.34	-7.26	-6.34
	p	0.000	0.000	0.000
$Q_{batı}$	β	0.42	0.34	0.32
	t	6.66	6.69	6.44
	p	0.000	0.000	0.000
$\%SD_{batı}$	β	4.12	3.32	3.42
	t	4.71	4.75	4.81
	p	0.000	0.000	0.000
$\%SL_{doğu}$	β	2.26	1.53	1.47
	t	2.74	2.32	1.29
	p	0.01	0.02	0.03

Regresyon analizinden elde edilmiş olan bağıntılar Tablo 3'ten aşağıdaki şekilde yazılabilir.

Kontrolsüz

$$D_{doğu} = -361.80 + 0.424Q_{batı} + 4.12\%SD_{batı} + 2.26\%SLD_{doğu} \quad (12)$$

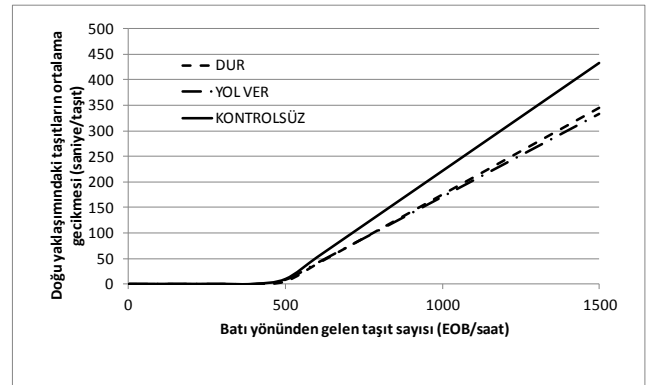
DUR kontrollü

$$D_{doğu} = -285.22 + 0.34Q_{batı} + 3.32\%SD_{batı} + 1.53\%SLD_{doğu} \quad (13)$$

YOL VER Kontrollü

$$D_{doğu} = -275.80 + 0.324Q_{batı} + 3.42\%SD_{batı} + 1.47\%SLD_{doğu} \quad (14)$$

Batı yaklaşımı hacminin 0~1200 taşıt/sa. aralığında değiştiği ve batı yönünden sağa dönen taşıt yüzdesi ile doğu yönlere sola dönen araç oranının % 25 olduğu kabul edilerek (12),(13) ve (14) bağıntıları karşılaştırılmıştır (şekil 8). şekil incelendiğinde, DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda gecikme değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görölmektedir. Diğer yandan yine beklenildiği gibi tamamen kontrolsüz kavşakta doğu yaklaşımına ait gecikme değerlerinin DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklara oranla daha yüksek olduğu görölmektedir. Hesaplar sonucunda elde edilen diğer bir sonuç ise, doğu yaklaşımının sola dönen ve doğu geçiş yapan taşıtlar tarafından ortak kullanılan bir şerit olması sebebiyle, gecikme değerlerinin batı yaklaşımına oranla çok daha yüksek olduğudur.



şekil 8: Doğu yaklaşımı için anayol gecikme modellerinin karşılaştırılması.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, bir "T" kavşak örneğinde, AIMSUN benzetim programı kullanarak, anaakımdaki araçların gecikmeleri modellenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda:

- DUR ve YOL VER kontrollü kavşaklarda anaakıma ait gecikme değerlerinin, incelenen trafik akım oranı ve bu akımdan sağa dönen araç yüzdesinden etkilendikleri anlaşılmıştır. Ancak yanyoldan kavşağa giriş yapan araçların etkisinin beklenilenden daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Bunda yanyol kapasitesinin büyük oranda anayol trafik hacmine bağlı olmasının da önemli bir rolü bulunmaktadır,
- Diğer yandan, tamamen kontrolsüz kavşaklarda, yanyola ait trafik talebinin, anaakım gecikmesinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür,
- Anaakımda sola dönen araçlardan kaynaklanan gecikme değerlerinde anayolda karşı yöndeki akım, bu akımdan sağa dönüş yaparak yanyola giren araç yüzdesi ile incelenen trafik akımında sola dönen araç yüzdesinin etken olduğu görülmüştür,
- Analizler sonucunda, batı yaklaşımına ait DUR ve YOL VER kontrollü kavşak modellerinin, doğu yaklaşımına oranla daha başarılı olduğu görülmektedir. Doğu yaklaşımından sola dönüş yapan sürücüler, batı yaklaşımından sağa dönenlerin aksine daha fazla engelleyici akımla karşılaşmakta ve daha uzun süreler beklemek zorunda kalmakta; gecikme süreleri uzadığından kontrolsüz kavşaktaki sürücülere benzer şekilde daha küçük aralıkları da kabul edebilmektedirler. Buna bağlı olarak tamamen kontrolsüz kavşaklardan elde edilen modellere benzer sonuçlar elde edilmiştir,
- Bu sonuçlar, tamamen kontrolsüz kavşaklarda bile özellikle sola dönüş yapan sürücülerin herhangi bir kaza meydana gelmemesi için büyük oranda geçiş önceliklerine dikkat edebileceklerini göstermektedir.

Çalışma kapsamında gözlem yapılan kavşaklarda, sürücülerin büyük oranda DUR veya YOL VER işaretlerine uymadıkları görülmüştür. Tanyel ve Yayla'nın [17] çalışmalarında, dönel kavşaklarda da benzer koşulların bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, kavşaklarımızın kapasitelerinin altında kullanılması; bunun sonucunda gecikmelerin artması ve daha fazla yakıt harcanması gibi olumsuz durumları da beraberinde getirmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda, anayol araçlarının maruz kaldıkları gecikmelere ait modellerin gözlem verilerine bağlı olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yazarlar ileride kritik aralık kabul değerleri, yan yol takip aralığı değerleri ve araç kompozisyonunu da dikkate alan çalışmalar yapmayı planlamaktadırlar.

5 Kaynaklar

- [1] Gedizlioğlu E. Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Sürücülerinin Davranışlarına Göre Pratik Kapasite Saptanması İçin Bir Yöntem. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1979.

- [2] Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*. Washington DC, USA, 2000.
- [3] Stover VG, Adkins WG, Goodknight JC. "Guidelines for Medial and Marginal Access Control on Major Roadways". NCHRP Report 93, Transportation Research Board, National Research Council. Washington, DC, USA, 1970.
- [4] Alexander MH. Development of An Economic Warrant for the Construction of Right-Turn Deceleration Lanes. Final Report. Purdue University. Lafayette, Indiana, USA, Joint Highway Research Project C-36-17HH, 1970.
- [5] McShane WR. "Access Management and the Relation to Highway Capacity and Level of Service". Technical Memorandum on Activity 4, Florida, USA, 1995.
- [6] Bonneson JA. "Delay to major street through vehicles due to right-turn activity". *Transportation Research-A*, 32(2), 139-148, 1998.
- [7] Akgüngör AP, Demirel A, Doğan E, Gürbüz T. "Sağa dönen taşıt trafiğinin anayol üzerinde sebep olduğu gecikme ve yakıt tüketimi için yeni bir model önerisi". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 398-403, 2006.
- [8] Bonneson JA, McCoy PT. "Capacity and Operational Effects of Midblock Left-Turn Lanes". National Cooperative Highway Research Program, USA, Report 395, 1997.
- [9] Bonneson JA, Fitts JW. "Delay to major street through vehicles at two-way stop-controlled intersections". *Transportation Research Part A*, 33 (3/4), 237-253, 1999.
- [10] Troutbeck R. "Unsignalized intersections and roundabouts in Australia: recent developments". *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 18-19 July 1991.
- [11] Troutbeck R. "The capacity of a limited priority merge". Queensland University of Technology, School of Civil Engineering, Brisbane, Australia, Physical Infrastructure Centre Research Report 98-4, 1998.
- [12] Troutbeck R, Kako S. "Limited priority merge at unsignalized intersections". *Transportation Research Part A*, 33(3/4), 291-304, 1999.
- [13] Bunker J, Troutbeck R. "Prediction of minor stream delays at a limited priority freeway merge". *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(8), 719-735, 2003.
- [14] Luttinen RT. "Capacity and level of service at finnish unsignalized intersections". Finnish Road Administration. Helsinki, Finland, Finnra Reports 1, 2004.
- [15] Ma D, Ma X, Jen S, Sun F, Wang D. "Estimation of major stream delays with a limited priority merge". *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(12), 1227-1233, 2013.
- [16] Gedizlioğlu E, Yayla Y. "Kontrolsüz eşdüzey kavşaklarda giriş aralığı kavramı". *Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi*, Ankara, Türkiye, 25-27 Ekim 1978.
- [17] Tanyel S, Yayla N. "Yuvarlakada kavşakların kapasiteleri üzerine bir tartışma". *Teknik Dergi-İMO*, 21(1), 4935-4958, 2010.
- [18] Yekshatyan L, Schnell T. "Turn lane lengths for various speed roads and evaluation of determining criteria". Minnesota Department of Transportation, USA, Report No. MN/RC 2008-14, 2008.