

Işıksız Kavşaklarda Kritik Aralık Kabulü İçin Yeni Bir Yaklaşım

Sezin HIZARCI¹
Serhan TANYEL²
Selim DÜNDAR³
Ilgın GÖKAŞAR⁴
Burak ŞENGÖZ⁵
Ali TOPAL⁶

ÖZ

Bu çalışma kapsamında İzmir’de yer alan 4 ışısız kavşaktan toplanan verilerden yararlanarak, farklı manevralar için bağıntılar geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, kritik aralık kabul değerinin, düşük ana yol hacim değerleri altında önemli oranda değişkenlik gösterdiği; ancak ana yol trafik akımı yüksek değerlere ulaştığında sürücülerin daha kısa aralıkları kabul ettikleri görülmüştür. Aralık kabul değerinin belirlenmesinde, kavşağa giriş yapacak sürücünün manevrasından daha çok; uygun aralık bulmaya çalıştığı manevranın daha etkin olduğu görülmüştür. Çalışmanın bir diğer çıktısı da, özellikle düşük ana yol trafik akımı etkisi altında sürücü davranışlarının daha etkili olduğu ve davranış farklılıklarının modele katılmasıyla sahada gözlemlenen değerlere daha sağlıklı biçimde ulaşılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Işıksız kavşak, kritik aralık, kapasite.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 2 Ağustos 2022 günü ulaşmıştır. 12 Haziran 2023 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Eylül 2023 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tjce.1314559>

- 1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye
sezinhizarci@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0003-4435-5535>
- 2 Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
serhan.tanyel@deu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-8549-9442>
- 3 İstanbul Okan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
selim.dundar@okan.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-4433-1998>
- 4 Boğazici Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
ilgin.gokasar@boun.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-9896-9220>
- 5 Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
burak.sengoz@deu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-0684-4880>
- 6 Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
ali.topal@deu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-2601-1926>

ABSTRACT

A New Approach for Acceptance of Critical Gap at Unsignalized Intersections

Within the scope of this study, it is aimed to develop relations for different maneuvers by using the data collected from four different unsignalized intersections in İzmir. In the study, it is observed that the critical gap acceptance value varies significantly under main arterials involving low volumes of traffic; however, when the highway traffic flow reaches high values, drivers accept shorter gaps. In determining the gap acceptance value it is observed the maneuver of the driver trying to find an appropriate gap at the intersection is more effective than the maneuver of the driver entering the intersection. Another output of the study is that driver behaviors are more effective, especially at main arterials having low traffic flow, and it is determined that the actual values observed in the field can be achieved by adding behavioral differences to the investigated models.

Keywords: Unsignalized intersections, critical gap, capacity.

1. GİRİŞ

Farklı doğrultudaki taşıt hareketlerinin ışıksız trafik işaretleri ile düzenlendiği kavşaklar denetimsiz ve ışıksız eşdüzey kavşak adını alırlar. Işıksız eşdüzey kavşakların düzenlenmesinde, kavşağa bağlanan yollardan birisi, hacim ya da geometrik özelliklerine göre diğerlerinden daha önemli kabul edilir ve “ana yol” adını alır. Diğeri ya da diğerleri “yan yol” olarak adlandırılırlar [1]. Ana yol üzerinde seyreden araçlar kavşakta ilk geçiş hakkına sahip araçlardır ve trafik güvenliği açısından yan yolda seyreden araçlar için kavşak yaklaşımlarına “DUR” ya da “YOL VER” mesajlı trafik işaretleri yerleştirilir. Yan yolda hareket eden taşıt sürücülerini kavşağa yaklaşırken hızlarını azaltıp ve/veya durup ana yolu gözlemek ve ana yoldan kavşağa yaklaşan taşıt var ise ilk geçiş hakkını bunlara bırakmak zorundadır. Bu davranış, aynı zamanda kavşağın kapasite ve başarımını etkileyen en önemli unsur olarak da ön plana çıkmaktadır. Her ne kadar ışıksız 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. Bu uygulamalar, kavşak kapasitesini ve başarımını etkilemektedir. Kavşak geometrilerindeki farklılıklar da, kavşak başarımını etkileyen diğer bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, ülkemizdeki ışıksız kavşakların kapasite ve başarımlarının doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde ışıksız kavşakların kapasite ve başarımlarının belirlenmesinde üç ana yöntem kullanılmaktadır:

1. Analitik (Davranışsal) yöntem veya daha bilenen adıyla kritik aralık kabulü yöntemi,
2. Geometrik veya ampirik yöntem,
3. Eklenik engelleyici akımlar (EEA) yöntemi [1,2,3,4].

Analitik (davranışsal) yöntem, daha çok ana yoldaki ve yan yoldaki sürücülerin davranışlarını dikkate alan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Yöntem ayrıca kritik aralık kabul yöntemi (critical gap acceptance method) olarak da bilinmektedir. Bu yöntemin temelleri, ilk olarak [5] tarafından yayaların karşıdan karşıya geçişleri için geliştirilen

gecikme modeline dayanmaktaysa da yöntemin ilk olarak tanımlandığı çalışma Tanner tarafından 1962 yılında yayınlanmıştır [2]. Kritik aralık kabul yönteminin temelinde yapılan kabuller aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

- Yan yoldan kavşağa yaklaşan bir taşıt sürücüsü için kavşak içinde üç çeşit manevra söz konusudur. Bunlar; sağa dönüşle ana yoldaki yakın şerit akımına katılmak, sola dönüşle ana yoldaki yakın şerit akımını kesip uzak şerit akımına katılmak ya da her iki ana yol akımını da kesip karşıya geçerek karşıdaki yan yola girmek şeklinde olabilir. Bu manevralar sırasıyla kısaca katılma, kesip katılma ve kesip geçme olarak belirtilir [1].
- Yan yol sürücüleri için katılmak veya kesip geçmek istedikleri ana yol akımındaki taşıtlardan, önde bulunan taşıtın arkası ile onu izleyen taşıtın önü arasındaki aralık “Araya Giriş Aralığı (GAP)” olmaktadır.
- Ayrıca yan yol taşıtının kavşağa vardığı anda kavşağa en yakın ana yol taşıtı ile arasındaki uzaklık ise “Öne Giriş Aralığı (LAG)” olmaktadır.

Yan yoldan ışısız kavşağa yaklaşan bir sürücü, ana akım içine ancak kendisi için güvenli gördüğü “T” gibi bir zaman cinsinden aralık değerine eşit veya daha büyük bir aralık bulunduğu katılabilecektir [6]. Aralığın büyüklüğü, olası en az gecikme için seçilen en güvenli, en kısa zaman cinsinden aralık değeri olarak ifade edilebilir. Her sürücünün kabul ettiği aralık değeri birbirinden farklı olabilir. Bir sürücünün kabul ettiği bir aralık değerinden çok daha uzun bir aralık değerinin başka bir sürücü tarafından kabul edilmemesi sık görülen bir olaydır [1]. Her sürücü kabul edeceği aralığı, kişinin kendisi tarafından ve çoğu zaman sürücülük tecrübesine bağlı olarak belirlediği bir karar verme süreci sonucunda seçmektedir. Bu seçimde sürücünün yaşı, cinsiyeti, fiziksel durumunun yanı sıra karakteri de önemli bir rol oynamaktadır. Bazı araştırmacılar, sürücülerin aynı kavşakta farklı davranışlarda bulduklarını da öne sürmektedirler [1, 6, 7]. Bazı araştırmacılar ise, kavşağı sık kullanan sürücülerin, edindikleri alışkanlıklar sonucunda daha kısa aralıkları kabul ettiklerini belirtmektedirler [8]. Ancak özellikle ikincisi, gözlemlenmesi çok güç olduğundan kesinlik kazanmamıştır. Sürücüler arasındaki davranış farklılığı, aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [7]:

- Eğer bir sürücü hep aynı aralığı kabul ediyorsa bu sürücünün davranışı tutarlı olarak tanımlanabilir. Aksi takdirde, tutarsız bir sürücü olarak tanımlanır.
- Eğer sürücülerin seçtikleri aralık değerleri bütün sürücülerini kapsayacak bir dağılıma aitse bu sürücüler homojen, eğer değilse homojen olmayan sürücüler olarak tanımlanırlar.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında sürücü davranışları dört şekilde modellenilebilmektedir [7]:

1. Homojen ve tutarlı: Her sürücü sabit bir aralık kabulüne sahiptir.
2. Homojen ve tutarsız: Sürücü, durma çizgisine her geldiğinde, dağılıma ait farklı bir aralık değeri seçmektedir
3. Homojen olmayan ve tutarlı: Her sürücünün kabul ettiği sabit bir aralık değeri vardır fakat bu aralık değerlerinin dağılımı bir sürücü grubu için ifade edilmektedir.
4. Homojen olmayan ve tutarsız: Sürücülerin tutarsızlığına bağlı olarak, her sürücü veya bir grup sürücü, ayrı bir kritik aralık dağılımına sahiptirler.

Yapılan çalışmalar, homojen olmayan ve tutarsız sürücü davranışının, gerçek olayları daha iyi karakterize ettiğini göstermiştir. Ancak bu tip sürücü davranışlarının modellenmesi çok güçtür. Bu yüzden yapılmış olan çalışmalarda sürücülerin, homojen ve tutarlı oldukları kabul edilmiştir. Bu kabule göre, belirli bir "T" değerinden kısa ana yol aralıklarında hiçbir yan yol sürücüsü kavşağa girmeyecek, daha uzun aralıklarda ise yan yol sürücülerinin tümü kavşağa girecekleridir [1,7]. Bu durum, genel aralık kabulü fonksiyonuyla tanımlanabilir [6, 7]:

$$G(t) = P(\text{herhangi bir sürücünün kabul edeceği aralık} \geq t) \quad (1)$$

$G(t)$, bir aralığın kabul edilme olasılığı olup normal şartlarda $G(t)$ dağılımının ortalaması veya medyanı, kritik aralık değeri olarak kabul edilmektedir. Her ne kadar sürücü davranışı homojen olmayan ve tutarsız olarak kabul edilse de burada sürücü davranışının homojen ve tutarlı olduğu göz önüne alınarak yapılmaktadır [7]. Karar verme durumunda göz önünde bulundurulması gereken nokta, $G(t)$ 'nin "t" değerinin bir ön giriş aralığı mı yoksa araya giriş aralığını mı belirttiğidir. Bu durumda seçilen aralığın kritik araya giriş aralığı (T_g) veya kritik öne giriş aralığı (T) olup olmadığı belirlenmesinde de karşılaşmaktadır. Bu karışıklığın önlenmesi için kritik öne giriş aralığı ve araya giriş aralıklarının birbirlerine eşit olduğu kabul edilmiştir. Kavşağa, oluşan bir aralıkta girebilecek araç sayısı, aralığın büyüklüğüne ve yan yoldan giren araçların takip aralıklarına (T_0) bağlıdır. Eğer tali akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerinin sabit olduğu kabul edilirse, model aşağıdaki şekilde basite indirgenebilir:

$$T(n) = T + (n - 1) T_0 \quad (2)$$

Burada; $T(n)$, sadece ve sadece "n" sayıda yan yol akımdaki aracın girebileceği kadar büyük aralık değerini, T_0 , takip aralığını göstermektedir. Böylece "t" aralığında kavşağa girebilecek araç sayısı (N_t) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$N_t = 1 + (t - T)/T_0 \quad (3)$$

Kritik aralık kabul değeri, doğrudan araziden ölçülebilen bir değer değildir. Toplanan verilerin, büro ortamında değerlendirilmesiyle elde edilebilen; kavşağı kullanan sürücülerin büyük kısmı tarafından kabul edileceği düşünülen bir parametredir. Bu sebeple, kritik aralık kabul yönteminin bulunması amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Literatürde en fazla bilinen yöntem Raff yöntemidir [9]. Bu yöntem en basit şekliyle, ana yoldaki taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralıklardan, yan yoldaki sürücüler tarafından reddedilen ve kabul edilen değerlerinin olasılık dağılım fonksiyonlarının kesiştiği değerini kritik aralık kabul değerini verdiği kabulüne dayanmaktadır. Diğer bir deyişle, kabul edilen aralıkların olasılık dağılım fonksiyon değeri ile ($F(a)$); reddedilen aralıkların olasılık dağılım değerlerinin ($F(r)$) toplamının 1" olduğu kabulüne dayanmaktadır.

Seigloch, yan yolda sürekli kuyruk bulunması durumunda kritik aralık değerinin hesaplanabileceğini öne sürmüştür [10, 11]. Bu yöntemin uygulanabilmesi için, yan yolda sürekli olarak en az bir araç bulunması gerekmektedir. Yöntem şu şekilde tanımlanabilir:

- Aralığın genişliği "t" ve bu aralıkta kavşağa giren araç sayısı "n" kaydedilir.

- Sadece "n" sayıda sürücü tarafından kabul edilen aralıklar için ortalama aralık değeri "E(t)" hesaplanır.
- Ortalama aralık değeri bağımlı değişken olarak kabul edilerek; bu aralıklarda kavşağa giren araç sayısı ile aralarında doğrusal regresyon yapılır.
- Doğrunun eğimi " T_o ", aralık eksenini kestiği nokta " t_o " olarak kabul edilirse; kritik aralık değeri " T ", aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir [11]:

$$T = t_o + T_o/2 \quad (4)$$

Ancak yan yolda her zaman kuyruk görülmeyebilir. Bu durumda kritik aralık değeri, takip ve aralık kabulü değerlerinin dağılımlarının bulunması suretiyle hesaplanabilir. Yan yolda bulunan bir sürücü, bir tek giriş aralığı kabul edecek ve kavşağa girecektir. Fakat aynı sürücü, birden fazla aralığı da reddedebilir. Bu durumda, reddedilen aralıkların en büyüğünün dikkate alınması uygun olacaktır [1, 6, 11].

Hewitt [12], öncelikli bir kavşak noktasında ana yola girişte sürücüler tarafından önce reddedilen ve sonra kabul edilen aralık değerlerini kullanarak sürücülerin kritik aralıklarının olasılık dağılımını tahmin eden bir yöntem geliştirmiştir. Miller [13], kritik aralık değerlerinin bulunması için aralarında maksimum olasılık yönteminin en iyi sonuç verdiği 9 adet yöntemi karşılaştırılmıştır. Miller haricinde Troutbeck [14] ve Tian v.d. [15] sürücülerin kritik aralıklarının bulunması için maksimum olasılık tekniğini kullanmıştır. Troutbeck [14] kritik aralık kabul yöntemini kullanarak Avustralya'da trafik çevreleri üzerinde ağır araçların etkisini incelemiştir. Abou-Henaidy v.d. [16] tarafından Kanada'da sürücüler tarafından aralıkların reddedilme ve kabul edilme olasılığı bulunurken logit modelden yararlanılmıştır. Radwan ve Sinha [17], logit analizini kullanarak farklı uzunluklardaki aralık kabullerinin kümülatif olasılığını modellemişlerdir. Hamad ve Easa [18], Solberg ve Oppenlander [19] ise kavşaklarda aralık değerlerinin bulunmasında probit model, Raff analizi ve Bissell yöntemini uygulamışlardır. Brilon v.d. [20], Dutta ve Ahmed [21] çalışmalarında, farklı yöntemleri karşılaştırmış ve maksimum olasılık yönteminin (MOY) gözlemlere en uygun sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. MOY ayrıca kritik aralığın bulunması için diğer araştırmacılar tarafından da [22, 23, 24] kullanılmıştır. Wu [25, 26], kritik aralık tahmini için reddedilen ve kabul edilen aralıklara dayanan olasılık dengesi yöntemini (ODY) kullanmıştır.

Vasconcelos, v.d.[27], yuvarlak ada kavşaklarda kritik takip aralığı ve takip sürelerini elde eden farklı yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada Raff, ODY ve MOY'lerine dayalı olarak elde edilen kapasiteler tutarlı bir şekilde doğruluk, Siegloch ve Logit yöntemlerine göre elde edilen kapasitelerin daha az tatmin edici başarımlar gösterdiği saptanmıştır. Ülkemizde Gedizlioğlu [1] aralık kabulü değerlerinin Lognormal ve Erlang dağılımları ile tanımlanabileceğini bulmuştur.

Sinha ve Tomiak [28] çalışmalarında ölçülen zaman aralıklarını tanımlamak için manevra türüne ve araç türüne göre değişiklik gösteren yeni bir terim olan "Section Gap" i sunmuşlardır. Madanat vd. [29] kuyruğa katılma ile kavşak durma noktasına varma arasında geçen süreyi açıklayan yeni bir parametre olarak kuyruk gecikmesini önermiştir. Çalışkanelli ve Tanyel [30] benzetim programı yardımıyla bir "T" kavşakta Dur, Yol Ver Ve Kontrolsüz denetim koşulları için ana yol araçlarının gecikmelerini hesaplayan bağıntılar önermiştir. Ozan v.d. [31] denetimsiz eşdüzey kavşakların performanslarını iyileştirecek önerilerde

bulunmuşlardır. Velan ve Van Aerde [32] kritik aralığı zamanla doğrusal olarak azalacak şekilde modellemiştir. Çalışmanın amacı bekleme süresi bazı eşik değerlere ulaştığında daha düşük öncelikli hareketi araya giriş olmadığında bile karşı akıma doğru yol almaya zorlamaktır.

Zohdy vd. [33] logit modelleri kullanarak bekleme süresinin ve yağmur yoğunluğunun sürücülerin aralık kabul etme davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Devarasetty vd. [34], çeşitli trafik ve geometrik özellikler kullanarak, lojistik regresyon yoluyla sürücülerin aralık kabulü davranışını modellemiştir. Vasconcelos vd. [35] manevraların geometrik özelliklerini ve araç-sürücü özelliklerini hesaba katan bir model önermiştir. Serag [36] sürücülerin agresif davranışlarının araya giriş ve öne giriş üzerindeki etkilerini inceleyen bir ikili logit model oluşturmuştur. Liu vd. [37] düz hareket eden sürücülerin ışıklı olmayan bir kavşakta karşıdan karşıya geçen başka bir araçla karşılaştıklarında kararlarını etkileyen ana unsurları da incelemiştir. Ayrıca, karar davranışını analiz etmek için bulanık teori yöntemi, uzman sistem, petri ağı ve yapay sinir ağı gibi çeşitli matematiksel yöntemler uygulanmıştır [38, 39, 40, 41]. Ashalatha ve Chandra [42] kritik aralık, takip süresi ve işgal süresini elde etmek amacıyla aralık kabulü için etki alanı (INOFOGA) kavramını geliştirmişlerdir. Mohon ve Chandra [43] tarafından ise karma trafik koşullarında kritik aralığın bulunması için kavşak alanındaki bir aracın işgal süresine dayalı yeni bir yöntem önerilmiştir.

Literatürden de anlaşılacağı üzere kritik aralığın belirlenmesi için farklı yöntemler önerilmektedir. Bu nedenle, kritik aralık değerlerini etkileyen parametrelerin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Kavşak geometrisi ve trafik akım koşulları değiştiğinde yan yolda bekleyen sürücülerin ana yolda kabul edecekleri aralık değerleri de farklılık gösterebilir. Özellikle ana yol trafik akımı arttıkça yan yol sürücülerinin kabul edecekleri aralıkların kılacağı ve bunun sonucunda ana yoldaki taşıtların da gecikmeye maruz kalacakları beklenebilir. Bu çalışmada ana yoldaki trafik akımının kritik aralık kabulü üzerindeki etkisi irdelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla gözlemler, İzmir’de belirlenen 4 adet ışiksiz kavşakta, sabah/zirve saat trafiğinde video kamera yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Gözlemci ekip tarafından veriler elde edilirken kavşakların geometrik durumları ve ana yol ile yan yolda yer alan sürücülerin manevra türleri dikkate alınmıştır. İlk aşama olarak Wu [25, 26] tarafından olasılık dengesi yöntemi kullanılarak kritik aralık kabul değerleri elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise farklı trafik akımı koşullarının kritik aralık kabul değerleri üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Sonraki aşamada farklı manevra türleri için kritik aralık kabul değerleri kantil regresyon yöntemiyle belirlenmeye çalışılmıştır. Son aşamada ise sürücü tipleri ve manevra türlerinin yer aldığı genel bir bağıntı sunulmaya çalışılmıştır. Sunulan bağıntı yardımıyla gelecekte yapılacak olan çalışmalarda kritik aralık değerlerinin daha sağlıklı hesaplanması sağlanarak ışiksiz kavşakların kapasite ve performansların artırılması amaçlanmaktadır.

2. GÖZLEM YAPILAN KAVŞAKLAR

Çalışma kapsamında İzmir’de yer alan dört ışiksiz kavşakta gözlemler yapılmıştır. Kavşakların ikisi Buca, birisi Bayraklı ve birisi de Karşıyaka ilçesinde yer almaktadır (Şekil 1). Kavşakların geometrik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Gözlemler, sabah ve/veya akşam zirve saatlerinde, açık hava koşullarında video kamera ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen

video çekimleri daha sonra büro ortamında gözlem ekibi tarafından izlenerek veriler toplanmıştır.



a) Bülent Ecevit Kavşağı



b) Çevik Bir Meydanı



c) Buca Mezarlık (Google Earth, 2021)



d) Nursultan Nazarbayev (Google Earth, 2015)

Şekil 1 - Gözlem Yapılan kavşaklar

Tablo 1 - Gözlem Yapılan Kavşakların Geometri Özellikleri

Kavşak	Yaklaşım Kolu	Hareket	Eğim (%)	Şerit Genişliği (m)	Şerit sayısı	Dönüş yarıçapı (m)
Bülent Ecevit	6753/19. Sokak	Sola Dönüş	0,07	3,0	1	13
	Bülent Ecevit Caddesinden Gelip 6753/19.Sokağa Gidiş	Sola Dönüş	0,005	3,0	1	26
	6753/19. Sokak	Sağa Dönüş	0,07	3,0	1	39,11
	Bülent Ecevit Cad	Sağa Dönüş	-0,0663	3,0	2	15,2
Çevik Bir	Buca Heykel		0,005	3,0	1	
	255.Sokak	Sola Dönüş	0,005	5,0	1	10,6
	Özmen Cad		0,005	3,0	1	
Mezarlık	61.Sokak		0,035	4,0	1	
Nursultan Nazarbayev	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	-0,02	3,3	2	27
	Adliye Gelişi	Sola Dönüş	0,005	3,3	1	25

İlk aşama olarak ana yoldaki taşıtlar arasındaki takip aralığı değerleri toplanmıştır. Daha sonra yan yoldaki taşıtların kavşak girişine geldikleri anla, kavşağa girdikleri anlar kaydedilmiştir. Her iki veri grubu birlikte değerlendirilerek yan yol sürücülerinin kavşağa giriş için kabul ve reddettikleri zaman cinsinden takip aralığı değerleri tespit edilebilmiştir. Kabul edilen aralık değerlerinin istatistiksel özellikleri, verilerin tanımlanması ve modelleme aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Kabul edilen aralıkların dağılımlarının genel olarak sağa çarpık dağılımlara uyduğu bilinmektedir [1]. Çalışma kapsamında toplanan verilerin uyduğu dağılımlar ve dağılım parametreleri Tablo 2’de yer almaktadır. Tablo 2’den de görülebileceği gibi, yan yol sürücülerini kabul ettikleri aralıklar Lognormal ve Weibull dağılımları ile tanımlanabilmektedir.

Tablo 2 - Aralık Kabul değerlerinin uyduğu istatistiksel dağılımlar

Kavşak	Yaklaşım Kolu	Hareket	Dağılım	Lokasyon Pr.	Şekil Pr.	Ölçek Pr.	Eşik Pr.
Bülent Ecevit	6753/19. Sokak	Sola Dönüş	Weibull		1,041	44,461	
	6753/19. Sokak	Sola Dönüş	Lognormal	1,801		0,827	
	Bülent Ecevit Caddesinden Gelip 6753/19.Sokağa Gidiş	Sola Dönüş	Weibull		0,903	42,000	
	6753/19. Sokak	Sağa Dönüş	Weibull		0,937	46,283	
Çevik Bir	Bülent Ecevit Cad	Sağa Dönüş	Lognormal	2,326		0,736	-1,707
	Buca Heykel		Lognormal	1,601		0,888	-0,477
	255.Sokak	Sola Dönüş	Lognormal	1,328		0,714	
Mezarlık	Özmen Cad		Weibull		1,041	11,647	
	61.Sokak		Lognormal	1,585		0,840	
	61.Sokak		Lognormal	0,543		0,800	1,331
Nursultan Nazarbayev	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	Weibull		0,901	17,043	0,008
	Adliye Gelişi	Sola Dönüş	Lognormal	2,185		1,221	
	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	Weibull		1,105	25,627	0,062
	Adliye Gelişi	Sola Dönüş	Lognormal	2,037		0,949	
	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	Weibull		0,911	79,196	0,122

Sürücülerin kabul ettikleri zaman cinsinden takip aralığı değerleri özellikle ana yoldaki trafik akımının ve yan yol talebinin düşük olması durumunda çok büyük değerler alabilmektedir. Yan yolda bekleyen bir sürücü, kuyruk baskısı olmadığı durumlarda (arkasında başka taşıtların bulunmaması durumunda); güvenlik ve sürüş konforu açısından göreceli olarak daha uzun aralıkları bekleyerek kavşağa girebilmektedir. Ancak çalışmalar, 12 saniyeden daha büyük aralıkların yan yolda bekleyen sürücüler tarafından fark edilemeyeceğini; ana yoldan kavşağa yaklaşan taşıtların, yan yoldaki sürücü tarafından görülemeyeceğini vurgulamaktadır [27]. Çalışmada yan yoldaki bir sürücü tarafından kabul edilebilecek en büyük aralık değeri 12 saniye olarak kabul edilmiş ve bu değer üzerindeki veriler analiz kapsamı dışında bırakılmıştır.

Kritik aralık kabul değerlerinin ortalama ve varyansları Wu [25] tarafından önerilmiş olan yöntem kullanılarak bulunmuştur. Yöntem, kabul edilen ve reddedilen aralıkların olasılıklarının dengesi prensibine dayanmaktadır. Yöntem, kabul edilen ve reddedilen aralıkların olasılık dağılım fonksiyonlarının arasında, kritik aralık kabul değerlerine ait bir başka olasılık dağılım fonksiyonu eğrisi olduğunu kabul etmiş ve bu fonksiyonun değerlerinin aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabileceğini belirtmiştir:

$$F_T(t) = F_K(t) / (F_K(t) + 1 - F_R(t)) \quad (5)$$

Burada $F_{T(t)}$, kritik aralık kabul değerlerine ait olasılık dağılım fonksiyonunu; $F_{K(t)}$, kabul edilen aralıklara ait olasılık dağılım fonksiyonu; $F_{R(t)}$, reddedilen aralıklara ait olasılık dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Bu yöntem de sürücülerin homojenliği ve tutarlılığına bakılmaksızın bütün reddedilen ve kabul edilen aralık değerleri dikkate alınarak kritik aralık kabul değerine ait ampirik bir olasılık dağılım fonksiyonu hesaplanmaktadır. Wu [25], kritik aralık kabul değerlerinin bulunması için de bir Excel tablosu önermiştir. Çalışma kapsamında kullanılan Excel Tablosunun bir örneği Şekil 2’de görülmektedir. Tablonun 10. ve 11. kolonlarının toplamları sırasıyla kritik aralık kabul değerlerinin ortalamasını ve varyansını vermektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur. Ayrıca her manevra türünü engelleyen manevralar ve bu manevralara ait hacim değerleri verilmiştir.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Aralık No	Aralık (s)	Kabul veya red	n_{red}	n_{kabul}	F_{red}	F_{kabul}	Tahmin edilen KAK değerlerinin ODF	Tahmin edilen KAK değerlerinin OYF	t_{kabul} (s)	OYF*Aralık	σ^2
290	7.169	r	279	11	0.808696	0.478261	0.714286	0.003079	7.169000	0.022072	0.158234
291	7.169	r	280	11	0.811594	0.478261	0.717391	0.003106	7.169000	0.022264	0.159610
292	7.177	r	281	11	0.814493	0.478261	0.720524	0.003133	7.173000	0.022471	0.161184
293	7.179	r	282	11	0.817391	0.478261	0.723684	0.003160	7.178000	0.022684	0.162825
294	7.279	k	282	12	0.817391	0.521739	0.740741	0.017057	7.229000	0.123302	0.891348
295	7.289	r	283	12	0.820290	0.521739	0.743802	0.003061	7.284000	0.022296	0.162402
296	7.359	r	284	12	0.823188	0.521739	0.746888	0.003086	7.324000	0.022604	0.165553
297	7.359	r	285	12	0.826087	0.521739	0.750000	0.003112	7.359000	0.022901	0.168532
298	7.608	r	286	12	0.828986	0.521739	0.753138	0.003138	7.483500	0.023484	0.175741
299	7.608	k	286	13	0.828986	0.565217	0.767717	0.014578	7.608000	0.110913	0.843826
300	7.618	k	286	14	0.828986	0.608696	0.780669	0.012953	7.613000	0.098608	0.750704
301	7.729	r	287	14	0.831884	0.608696	0.783582	0.002913	7.673500	0.022352	0.171522
302	7.729	r	288	14	0.834783	0.608696	0.786517	0.002935	7.729000	0.022683	0.175315
303	7.776	r	289	14	0.837681	0.608696	0.789474	0.002957	7.752500	0.022923	0.177709
304	7.776	r	290	14	0.840580	0.608696	0.792453	0.002979	7.776000	0.023166	0.180138
305	7.781	r	291	14	0.843478	0.608696	0.795455	0.003002	7.778500	0.023349	0.181619
306	7.998	r	292	14	0.846377	0.608696	0.798479	0.003025	7.889500	0.023862	0.188260
307	8.045	r	293	14	0.849275	0.608696	0.801527	0.003048	8.021500	0.024447	0.196098
308	8.055	r	294	14	0.852174	0.608696	0.804598	0.003071	8.050000	0.024721	0.199007
309	8.16	r	295	14	0.855072	0.608696	0.807692	0.003095	8.107500	0.025090	0.203413
310	8.408	r	296	14	0.857971	0.608696	0.810811	0.003119	8.284000	0.025834	0.214006
311	8.457	r	297	14	0.860870	0.608696	0.813953	0.003143	8.432500	0.026501	0.223467
312	8.457	r	298	14	0.863768	0.608696	0.817121	0.003167	8.457000	0.026784	0.226516
313	8.457	r	299	14	0.866667	0.608696	0.820313	0.003192	8.457000	0.026994	0.228286
314	8.457	k	299	15	0.866667	0.652174	0.830258	0.009946	8.457000	0.084112	0.711332
315	8.528	r	300	15	0.869565	0.652174	0.833333	0.003075	8.492500	0.026115	0.221779

Şekil 2 - Örnek Excel çalışma tablosu

Ortalama ve varyans değerlerinin birkaç gözlem noktası haricinde, trafik güvenliği açısından risk yaratabilecek oranda düşük olduğu görülmektedir. Bu değerler, ana yolda nispeten yüksek trafik akımı gözlenmesi durumunda, çok kısa aralıkların bile sürücüler tarafından kabul edilebileceğini göstermektedir ki, sınırlı öncelik ve/veya aralık zorlama koşullarının ortaya çıkmasının ana nedeni de budur. Özellikle yüksek ana yol hacimleri altında yan yoldaki sürücüler uzun süre beklemelere maruz kalabilmekte ve ana yoldaki taşıtları yavaşlamaya veya durmaya mecbur ederek kavşağa giriş yapabilmektedirler. Bu da, aslında kritik aralık değerinin, ana yol hacmi arttıkça düşebileceğini göstermektedir.

Tablo 3 - Farklı Manevralara ait engelleyici akım tanımları, engelleyici akım hacimleri ve yan yol süürücüleri tarafından kabul edilen aralıkların ortalama ve varyans değerleri

Kavşak	Yaklaşım Kolu	Hareket	Engelleyici Akım	Hareket	Ort.T (saniye)	T Varyans	Engelleyici Akım (taşıt/saat)
	6753/19. Sokak	Sola Dönüş	Bülent Ecevit Cad	Doğru Geçiş	6,54	49,48	113
	6753/19. Sokak	Sola Dönüş	Bülent Ecevit Caddesinden Gelip 6753/19.Sokağa Gidiş	Sola Dönüş	6,13	44,91	468
Bülent Ecevit	Bülent Ecevit Caddesinden Gelip 6753/19.Sokağa Gidiş	Sola Dönüş	Bülent Ecevit Cad	Doğru Geçiş	2,17	7,05	295
	6753/19. Sokak	Sağa Dönüş	Bülent Ecevit Cad	Doğru Geçiş	5,53	34,28	152
	Bülent Ecevit Cad	Sağa Dönüş	Bülent Ecevit Caddesinden Gelip 6753/19.Sokağa Gidiş	Sola Dönüş	6,09	44,72	405
Çevik Bir	Buca Heykel	Tınaztepe			4,41	25,48	575
	255.Sokak	Sola Dönüş	Özmen Cad		4,49	24,65	780
	Özmen Cad	255. Sokak		Sola Dönüş	3,60	14,44	483
Mezarlık	61.Sokak	Dokuzçşmeler Gelişi		Doğru Geçiş	4,94	26,38	495
	61.Sokak	Tınaztepe Yaklaşımı			4,68	28,29	793
Nursultan Nazarbayev	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	Bayraklı Gelişi	Doğru Geçiş	4,16	23,17	338
	Adliye Gelişi	Sola Dönüş	Bayraklı Gelişi	Doğru Geçiş	5,21	34,75	248
	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	Adliye Gelişi	Sola Dönüş	4,71	28,94	231
	Adliye Gelişi	Sola Dönüş	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	6,26	46,84	396
	Adatepe Gelişi	Sola Dönüş	Adliyeden Gelip Bayraklıya Gidiş	Doğru Geçiş	2,92	14,47	139

3. ARALIK KABULÜ DEĞERİNİN ENGELLEYİCİ AKIM VE KAVŞAK GEOMETRİSİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ

Yukarıda açıklanan bulgular, aslında literatürde yer alan, ana yoldaki trafik hacmi arttıkça yan yolda bekleyen sürücülerin daha kısa aralıklar kabul etme eğiliminde oldukları yönündeki genel yaklaşımlarla örtüşmektedir. Ana yoldaki trafik akımının çok düşük olması durumunda yan yoldaki sürücüler, kendileri için daha güvenli olduğunu düşündükleri çok daha uzun bir aralığı tercih edebilmektedirler. Diğer yandan ana yol hacmi arttıkça, yan yoldaki sürücüler kavşağa giriş yapabilmek uzun süre beklemek zorunda kalacaklar ve bunun sonucunda reddettiklerinden daha kısa bir takip aralığını bile kabul ederek kavşağa giriş yapabileceklerdir. Trafik akımına bağlı olarak sürücülerin kabul ettikleri aralıkların modellenmesi için daha fazla sayıda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, veri sayısının artırılması için farklı bir yaklaşım tercih edilmiştir. Bu amaçla ilk önce KYTE v.d. [44] tarafından önerilmiş ve daha sonra Chandra v.d. [45] ile Tanyel v.d. [46]'nin çalışmalarında da kullanılmış olan aşağıdaki yöntem tercih edilmiştir.

Yan yoldaki bir sürücünün kavşak DUR veya YOL VER çizgisine geldiği an t_0 , kavşağa girdikleri an ise t_d olarak adlandırılırsa sürücünün maruz kalacağı gecikme:

$$D = t_d - t_0 \quad (6)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Sürücünün beklediği süre boyunca yoldan geçen taşıt sayısı " N ", N 'inci taşıtın yoldan geçtiği an ise t_N ile tanımlanırsa sürücünün yan yolda beklediği süre boyunca karşılaştığı engelleyici akım değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Engelleyici akım} = N / (t_N - t_0) \quad (7)$$

Sürücünün kavşağa girmek için kabul ettiği zaman cinsinden aralık değeri de kaydedilerek tüm sürücüler ve farklı trafik akım koşulları için kabul edilen aralık değerleri elde edilebilir. Böylece, veri sayısı büyük oranda arttırılmış olur.

Çalışma kapsamında, veriler:

1. Kavşaktan doğru geçen taşıtlar;
2. Kavşaktan sağa dönen taşıtlar;
3. Kavşaktan sola dönen taşıtlar;
4. Ana yoldan sola dönen taşıtlar

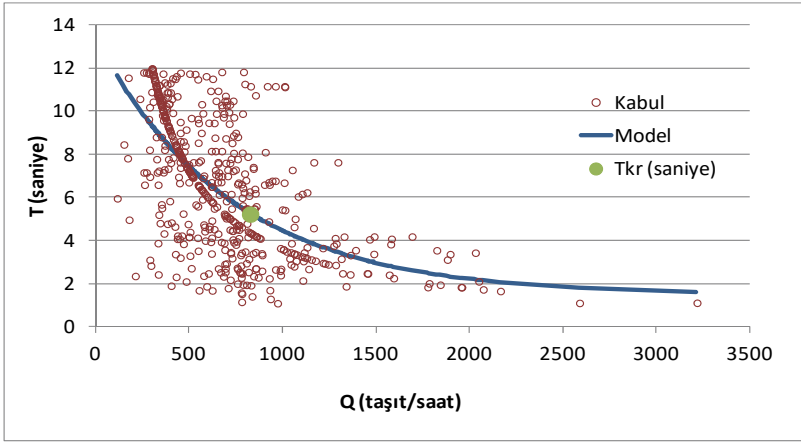
olarak 4 (dört) grupta toplanmıştır. Analizlerde, 12 saniyeden daha büyük olan değerler dikkate alınmamıştır. Çalışmada engelleyici akım ile sürücülerin kabul ettikleri aralık arasında eğrisel bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Bu ilişkinin, Horton' un sızma denklemi ile tanımlanabileceği kabul edilmiştir. Horton [47]'un sızma bağıntısı formülü aşağıda verilmiştir:

$$y = y_{alt} + (y_{üst} - y_{alt})e^{-Kx} \quad (8)$$

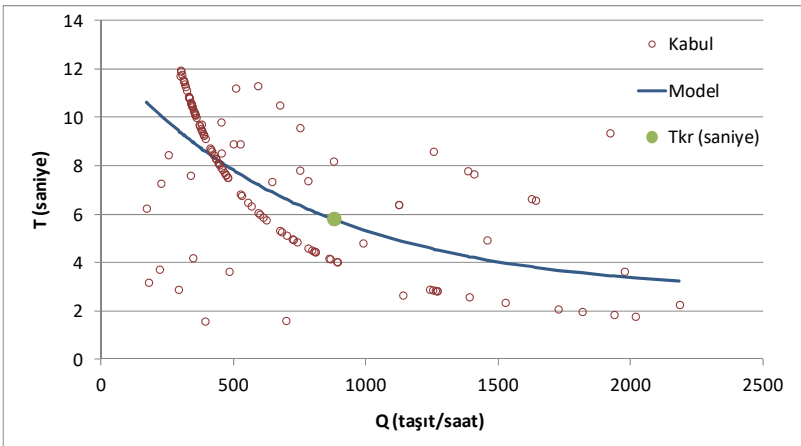
Burada “y”, tahmin edilmek istenen değişkeni, y_{alt} , değişkenin alt limit değerini; $y_{üst}$, değişkenin üst limit değerini, K bir katsayıyı ve “x” bağımsız değişkeni ifade etmektedir. Kritik aralık kabul değerleri için bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$T_k = T_{kalt} + (T_{küst} - T_{kalt})e^{-Kqc} \quad (9)$$

Bağıntıda T_{kalt} , kritik aralık kabul değerlerinin alt sınırını (saniye); $T_{küst}$, kritik aralık kabul değerlerinin üst sınırını (saniye), T_k , kritik aralık kabul değerini (saniye); ve qc engelleyici akım değerini (taşıtlar/saniye) ifade etmektedir. Farklı manevra türleri için denklem parametreleri, R programında [48] oluşturulan bir model yardımıyla bulunmuştur. R programı istatistiksel hesaplama için kullanılan bir program dilidir. R programında oluşturulan modelde En Küçük Kareler yönteminden yararlanılmıştır. En Küçük Kareler Yöntemi hataların karelerinin toplamını en aza indiren bir yöntemdir ve analizlerde en sık kullanılan yöntemlerden biridir.

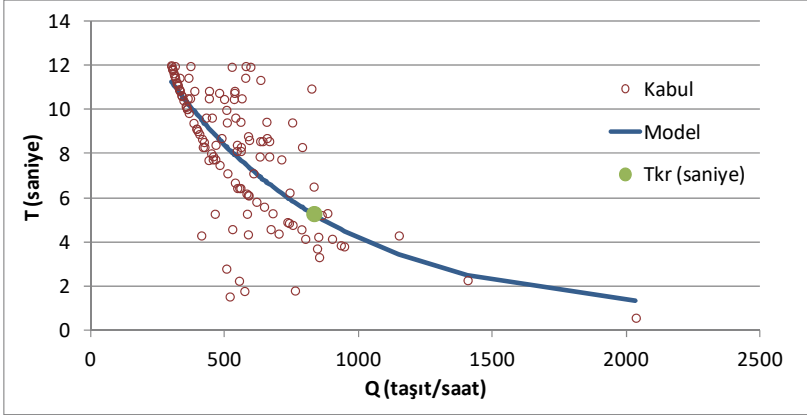


Şekil 3 - Sola dönen taşıtlara ait aralık kabul değerleri

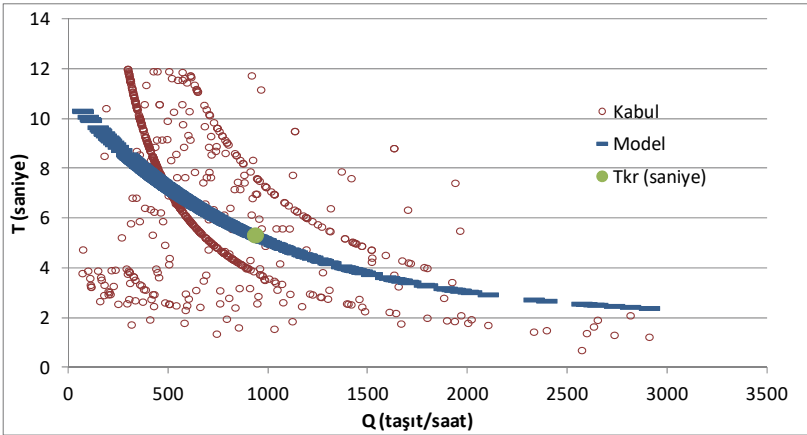


Şekil 4 - Ana yoldan sola dönen taşıtlara ait aralık kabul değerleri

Analizler; sola dönen 352 taşıt , sağa dönen 127 taşıt, ana yoldan sola dönen 268 taşıt ve doğru geçen 581 taşıt yani toplam 1328 veri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen katsayı değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 3~6'da manevra türlerine ait veriler ve ölçümlenmiş Horton değerleri görülmektedir. Şekil 7'de ise, tüm manevralar için elde edilen fonksiyonların karşılaştırması yer almaktadır.



Şekil 5 - Sağa dönen taşıtlara ait aralık kabul değerleri



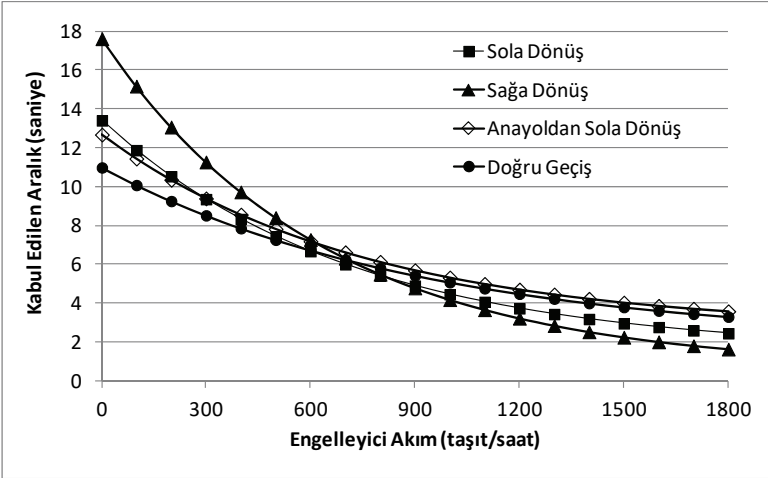
Şekil 6 - Kavşaktan doğru geçen taşıtlara ait aralık kabul değerleri

Tablo 4 - Farklı manevra türlerine ait Horton Fonksiyonu katsayıları

Manevra	Talt (saniye)	Tüst (saniye)	K	Tkr (saniye)
Sola Dönüş	1,47	13,42	4,99	5,23
Ana yoldan Sola Dönüş	2,67	12,69	4,79	5,82
Sağa Dönüş	0,62	17,63	5,63	5,29
Doğru Geçiş	2,00	10,99	3,86	5,33

Şekiller incelendiğinde, engelleyici akım ile sürücülerin kabul ettikleri aralık arasında eğrisel bir ilişki olduğu net olarak görülmektedir. Şekillerde farklı manevra türleri ele alınsa dahi sürücülerin toplamda %47 sinin engelleyici akım karşısında aynı aralık kabul değerlerini kabul ettiği söylenebilir. %47 dışında kalan sürücülerin manevra türlerine göre kabul ettiği aralık değerleri değişkenlik göstermektedir. Özellikle kavşaktan doğru geçen sürücülerin engelleyici akım karşısında kabul ettikleri değerleri farklılık göstermektedir. Çalışmanın ileriki bölümlerinden bu durum ayrıntılı incelenmiştir. Engelleyici akımın ana yolda trafik hacminin düşük olduğu durumlarda yan yol sürücülerinin kabul ettikleri aralık sürelerinin arttığı anlaşılmaktadır. Diğer yandan, ana yoldaki trafik hacmi arttıkça, çok küçük aralıkların bile sürücüler tarafından kabul edilebildikleri sonucuna varılabilmektedir. Bu sonuçlar, ana yolda düşük trafik akımı olması durumunda yan yol sürücülerinin daha uzun ve dolayısıyla daha güvenli aralıkları tercih ettiklerini göstermektedir. Ancak ana yoldaki trafik akımı arttıkça yan yol sürücülerinin sabırsızlandıkları ve yan yoldaki bekleme süreleri arttıkça daha kısa aralıkları kabul ettikleri söylenebilir.

Şekiller ve Tablo 4 incelendiğinde kritik aralık kabul değerinin (Tkr) manevra türlerine göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Elde edilen kritik aralık kabul değerleri literatürdeki verilerle uyum sağlasa dahi gözlem verilerinin sayıları manevra türlerine göre değişkenlik gösterdiği için Horton fonksiyonu yardımıyla kurulan modelden tespit edilen kritik aralık (Tkr) değerlerinin manevra türlerine göre değişimi hakkında kesin bir yargıya varılamamaktadır. Özellikle Şekil 6 incelendiğinde aynı engelleyici akım altında kavşaktan doğru geçiş yapan bir yanyol sürücüsünün kabul ettiği aralık değerlerinde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, Horton fonksiyonu yardımıyla kurulan modelin özellikle kavşaktan doğru geçen taşıtlara ait verilerin açıklanmasında yeterli gelmeyeceği tespit edilmiştir. Şekil 7’de farklı manevra türleri için modelden elde edilen engelleyici akıma bağlı kabul edilen aralık değerlerine ait grafik yer almaktadır. Şekil 7 incelendiğinde sürücüler farklı manevra türleri gerçekleştirse dahi yaklaşık olarak aynı davranışı benimsediği gözükmektedir. Aşağıda yan yoldaki sürücülerin kabul ettikleri aralık değerlerinin hangi parametrelerden etkilenebileceği ile ilgili daha detaylı bir analiz yer almaktadır.



Şekil 7 - Farklı Manevralar için modelden elde edilmiş engelleyici akıma bağlı kabul edilen aralık değerleri

Ana yoldaki engelleyici akım değerinin, yan yol sürücülerinin kabul aralıklarını etkilediği aslında beklenen bir sonuç olarak kabul edilebilir. Ancak aralık kabul değerleri, manevra türü (*MNV*) ve/veya engelleyici akım kadar (Q_{eng}), engelleyici manevra (*Op.MNV*) (örneğin ana yoldan sola dönen taşıtlar için, karşı yönden doğru geçiş yapan taşıtlar, yan yoldan sola dönen taşıtlar v.b.), ana yol şerit sayısı (*N*); şerit genişliği ($\$G$); yolun eğimi (*G*); dönüş yapan taşıtların takip ettikleri yörüngenin eğrilik yarıçapı (*I/R*) gibi parametrelerin de etkili olabileceği öngörülmüştür. Bu amaçla ilk adım olarak bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantılık (Multicollinearity) olup olmadığı araştırılmıştır. Tablo 5'te bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon (ilişki; ilgileşim) değerleri görülmektedir. Tablodan da görülebileceği gibi manevra (*MNV*) türü ile eğrilik yarıçapının (*I/R*); şerit sayısı (*N*) ile eğim (*G*) ve eğrilik yarıçapı (*I/R*) ile şerit genişliği ($\$G$) değerlerinin aynı bağıntı içerisinde yer almalarının uygun olmayacağı anlaşılmaktadır. Model araştırması yapılırken bu olumsuzluklar göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 5 - Bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon (ilişki; ilgileşim) değerleri

	Engelleyici		Eğim	Şerit Genişliği	Şerit Sayısı
	Manevra	Manevra			
Engelleyici Manevra	-0,282				
	0,000				
Eğim	-0,017	-0,025			
	0,000	0,360			
Şerit Genişliği	0,374	-0,428	0,001		
	0,000	0,000	0,000		
Şerit Sayısı	0,472	0,124	-0,696	-0,132	
	0,000	0,000	0,000	0,000	
1/R	0,665	-0,147	0,047	0,702	0,177
	0,000	0,000	0,084	0,000	0,000

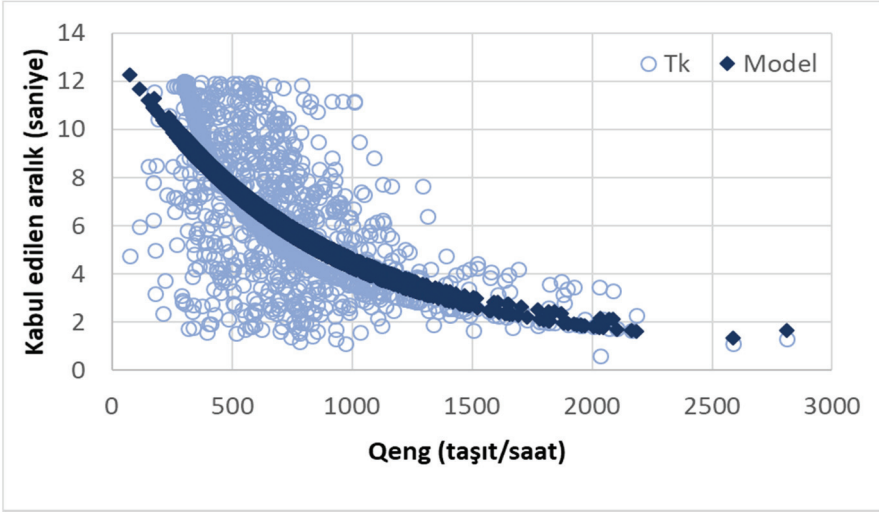
Modelde manevra ve engelleyici manevra değişkenleri, kukla değişken olarak analizlere katılmışlardır. Kavşaktan düz geçiş yapan taşıtlar için "0"; sağa dönenler için "1"; sola dönenler için "2" ve ana yoldan sola dönenler için "3" değerleri modelde kullanılmıştır. Analizler yine R programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Engelleyici akım ile yan yol sürücülerinin kabul ettikleri aralıklar arasında üstel bir ilişki olduğu bilinmektedir. Diğer bağımsız değişkenler ise doğrusal olarak modele katılmışlardır. Yapılan analizler sonucunda en iyi sonuç aşağıdaki bağıntı ile elde edilmiştir.

$$T = 0,935 + 0,199p.MNV + 0,109N + 12,534e^{(-0,001Q_{eng})} \quad R^2 = 0,468 \quad (10)$$

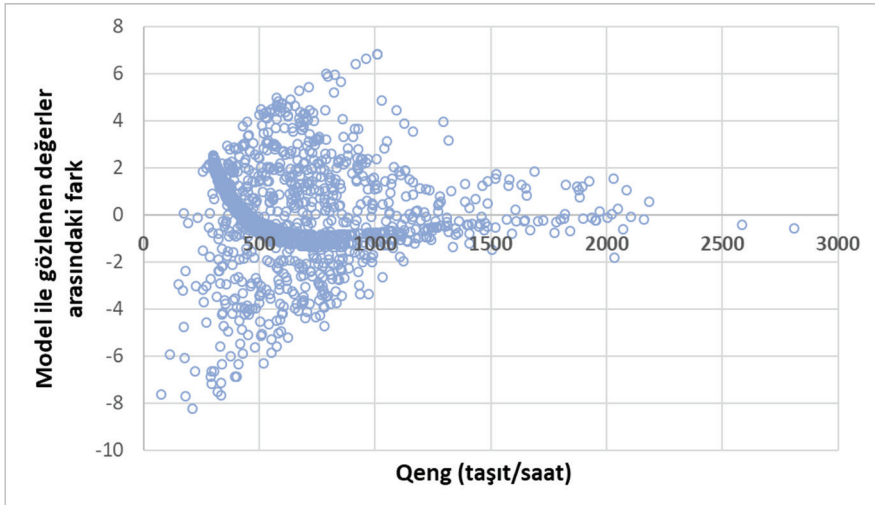
Bağıntıdan da görülebileceği üzere, yan yoldan kavşağa giriş yapan sürücülerin kabul ettikleri aralıklar, engelleyici akım; uygun aralık bulmaya çalıştıkları engelleyici manevra türü ve ana yol şerit sayısına bağlı olarak değişebilmektedir. Şekil 8'de gözlemlenen ve modelden elde edilen aralık kabul değerleri, engelleyici akıma bağlı olarak gösterilmektedir.

4. ARALIK KABULÜ DEĞERİNİN KANTİL REGRESYON İLE MODELLENMESİ

Yapılan analizlerden de görülebileceği gibi, yan yolda bekleyen bir sürücünün ana yolda kabul edeceği aralık değeri, büyük oranda ana yoldaki trafik akımına (engelleyici akıma), engelleyen akımın niteliğine (manevra türüne) ve belirli bir oranda da ana yoldaki şerit sayısına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ancak Şekil 8’den de görülebileceği gibi, elde edilen bağıntılar, kapasite ve kavşak başarımı analizi için kullanılabilir değerler vermekteyse de, gözlem verilerinin önemli bir kısmını açıklamada yetersiz kalmaktadır.



Şekil 8 - Gözlemlenen ve modelden elde edilen aralık kabul değerlerinin engelleyici akıma bağlı olarak değişimleri



Şekil 9 - Gözlem değerleri ile modelden elde edilen değerler arasındaki farkların, engelleyici akıma bağlı değişimleri

Şekil 9'da, gözlem değerleri ile modelden elde edilen değerler arasındaki farkların, engelleyici akıma bağlı değişimleri görülmektedir. Şekilden de açıkça anlaşılacağı gibi, model ile gözlemler arasındaki farklar, engelleyici akımın 1000 taşıt/saat' ten daha düşük olduğu koşullarda daha fazladır. Ancak engelleyici akım 1000 taşıt/saat' i aştıkça, model ile gözlemlenen değerlerin birbirlerine oldukça yaklaştıkları söylenebilir. Bu durum aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

- Düşük engelleyici akımlarda, yan yol sürücülere tarafından kabul edilen aralıklar, sürücü davranışlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Saldırgan olarak tanımlanabilecek olan bir sürücü, daha uzun ve güvenli bir aralık yerine çok daha kısa bir aralığı tercih ederek kavşağa girerken; yavaş olarak tanımlanabilecek bir sürücü, çok daha uzun bir aralığı bekleyebilmektedir.
- Ancak engelleyici akım arttıkça, bekleme süresinin de uzamasıyla birlikte tüm sürücüler kısa aralıklarda kavşağa girmeye çalışmaktadırlar. Diğer bir değişle sürücü davranışları homojen hale gelmektedir.

Çalışma kapsamında gözlem verileri ve model arasındaki farklılıkların Kantil Regresyon yardımıyla daha iyi açıklanacağı tespit edilmiştir.

Kantil regresyon Koenker ve Bassett (1978) [49] tarafından geliştirilen, serilerin normal dağılmadığı durumlarda kullanılan bir regresyon modelidir. Kantil regresyon en küçük kareler ve medyan regresyonuna alternatif olarak kullanılan yöntemlerden biridir. En küçük kareler yöntemi hataların karelerinin minimize edilmesine dayalı bir yöntemken kantil regresyon hataların mutlak değerlerinin minimize edilmesine dayalı bir yöntemdir. Kantil regresyon medyan regresyonun aksine bağımlı değişkenin sadece medyan kantilini açıklamakta kalmayıp aynı zamanda bağımlı değişkene ait farklı kantil değerlerini de tahmin etmektedir. Kantil regresyon aşırı değerlere karşı kararlı bir yöntemdir. .

Kantil regresyon birden fazla bağımsız değişken olduğunda da kullanılmaktadır. Kantil regresyonun çoklu doğrusal regresyonundan farkı; değişkenlerin normal dağılması şartının olmamasıdır. Kantil regresyonda değişkenlerin normal dağılım göstermesi durumunda çoklu doğrusal regresyon analizleri ile aynı sonucu vermekte olup değişkenlerin normal dağılmadığı durumlarda daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

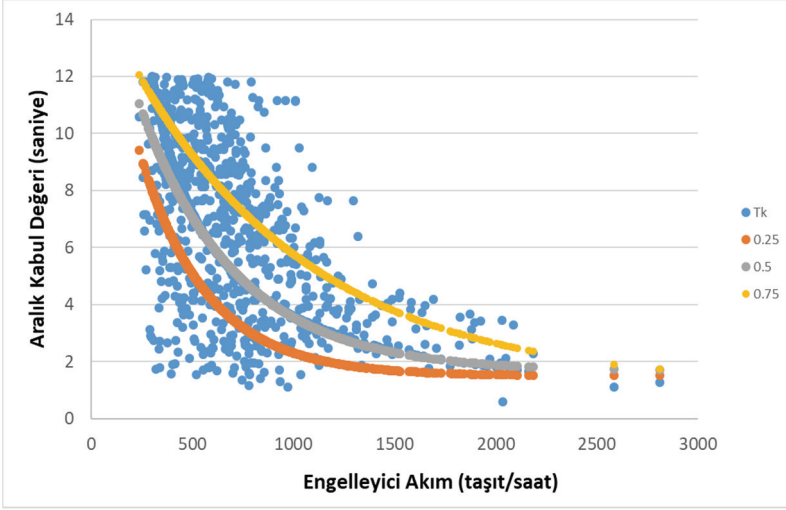
Yukarıda da bahsedildiği üzere kantil regresyon aykırı değerlere bağlı kalmadan regresyon modelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada değişkenlerin aykırı değer içerip içermediğine dair istatistikte yaygın olarak kullanılan Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Shapiro-Wilk testinin sıfır hipotezi dağılımın normal dağılım olmasıdır. Eğer p-value değeri, 0,05 anlamlılık düzeyinin altına düşerse, o dağılımın uygun olmadığı söylenebilir. Yapılan çalışmada p değeri 0.05'in altına düştüğü için hipotez reddedilmiştir yani kullanılan değişkenlerin aykırı değer içerdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle analizlerde kantil regresyon kullanılması uygun görülmüştür.

Kantil regresyon bağımsız değişkenlerin farklı kantil değerlerinde bağımlı değişken üzerindeki etkisini incelemektedir. Kantil regresyon değerleri 0 ile 1 arasında değişkenlik gösteren değerlerdir. Örnek olarak, kantil değerinin 0.25 olması demek dağılımının yüzde %25 ini açıklayan değerlerin kantil regresyon tarafından tahmin edileceği anlamına gelmektedir [50].

Çalışma kapsamında kullanılan kantil regresyon modeli aşağıda yer almaktadır. Yukarıda da değinildiği üzere, engelleyici akım ile kabul değerleri arasındaki eksponansiyel ilişki vardır.

Regresyon modeli kurulurken engelleyici akım ve kabul değerleri arasındaki eksponansiyel ilişki ve değişkenler arasındaki korelasyon göz önünde bulundurulmuştur. Aşağıda yer alan regresyon modeli yardımıyla analizler gerçekleştirilmiştir.

$$T = Sabit + \beta_1 MNV + \beta_2 Op.MNV + \beta_3 N + \beta_4 \text{ŞG} + \beta_5 e^{-\beta_6 Q_{eng}} \quad (11)$$



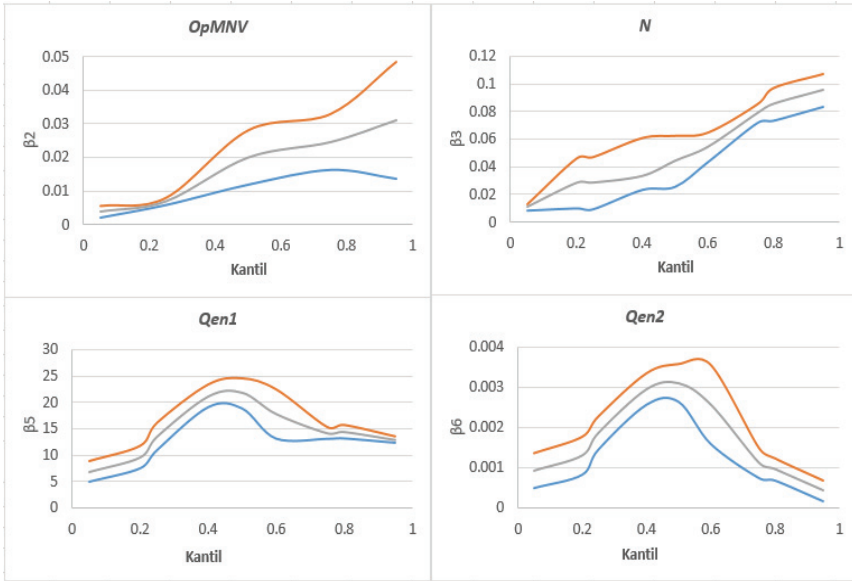
Şekil 10 - Aralık kabul değerleri ve engelleyici akımın kantillere bağlı değişimi

Kantil regresyon analizleri ilk aşamada; literatürde sık olarak kullanılan 0.25, 0.50, 0.75 kantil değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da 0.25, 0.50, 0.75 kantil değerleri yardımıyla kabul değerleri ve engelleyici akım arasındaki ilişki görülmektedir. Engelleyici akım ve yan yol sürücüler tarafından kabul edilen aralık değerleri arasındaki ilişkinin kantiller arasında farklılıklar gösterdiği açıkça görülmektedir. 0.25 kantil de, düşük engelleyici akım altında yan yol sürücülerinin daha uzun ve güvenli aralıklar yerine daha kısa aralıklarla kavşağa girdiği görülmektedir. 0.75 kantilde ise düşük engelleyici akım altında yan yol sürücülerinin kendilerini güvende hissettikleri daha uzun aralıkları tercih ettiği görülmektedir. 0.50 kantil değerinde gözlem verileri ve model verilerinin birebir uyumlu olduğu ortalama değerler görülmektedir. Kantil değerleri arasındaki farklılıklar sürücü davranışlarına benzetilebilir. 0.25 kantili saldırgan sürücüyü, 0.50 kantilin normal sürücüyü ve 0.75 kantilin yavaş sürücüyü temsil ettiği modelden de açıkça görülmektedir.

Aşağıda yer tabloda 0.25(saldırgan sürücü),0.50(normal sürücü) ve 0.75(yavaş sürücü) kantillerin parametrelerine ait katsayıları ve anlamlılık düzeylerine ait bilgiler bulunmaktadır. Manevra ve Şerit Genişliğine ait sırasıyla β_1 ve β_4 katsayı tahminleri istatistiksel olarak anlamsız olduğu için modellerde yer almamıştır. Engelleyici akım (Q_{eng}), ($Op.MNV$) ve ana yol şerit sayısı (N) istatistiksel olarak anlamlı bulunduğu için modellerde yer almıştır. Aşağıda yer alan tabloda 0.25, 0.50 ve 0.75 kantil değerlerine ait veriler yer almaktadır.

Tablo 6 - Farklı kantil değerlerinde bağımsız değişkenlere ait veriler

Kantil	Açıklayıcı Değişkenler	Kat Sayı	Standart Hata	t istatistiği	p değeri
0.25	Sabit	1.450	0.220	6.590	0.000
	OpMnv	0.007	0.001	1.625	0.000
	N	0.028	0.010	2.929	0.003
	Qen ₁	13.587	1.324	10.264	0.000
	Qen ₂	0.002	0.000	9.011	0.000
0.50	Sabit	2.670	0.222	12.025	0.000
	OpMnv	0.020	0.004	1.682	0.005
	N	0.044	0.009	3.631	0.000
	Qen ₁	21.858	1.435	15.231	0.000
	Qen ₂	0.003	0.000	12.891	0.000
0.75	Sabit	1.122	0.468	2.790	0.004
	OpMnv	0.025	0.004	2.478	0.001
	N	0.079	0.003	3.456	0.000
	Qen ₁	14.212	0.574	24.762	0.000
	Qen ₂	0.001	0.000	5.797	0.000

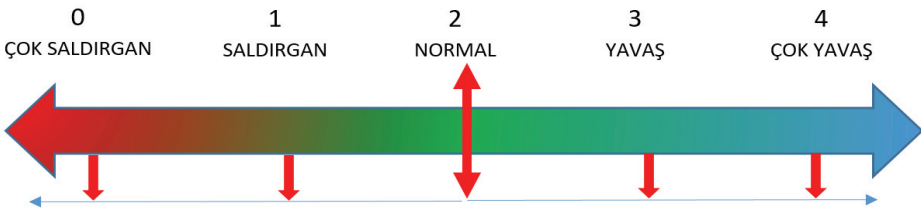


Şekil 11 - Farklı kantil değerlerinde parametre katsayılarının değişimi

Yukarıda yer alan şekillerde kullanılan parametrelere ait katsayıların sadece çeyreklik kantillerin üzerinde değil, diğer kantil değerleri üzerindeki değişimi görülmektedir. Şekil 11’de kantil değerleri yatay eksende gösterilerken, parametrelere ait katsayılardaki değişim aralıkları düşey eksende gösterilmektedir. Turuncu ve mavi çizgi katsayıların sırasıyla %95 ve %5 güven aralığını, gri çizgi ise katsayıları göstermektedir. Şekiller incelendiğinde; Engelleyici manevranın sürücülerin Kabul değerleri üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu ve engelleyici manevranın etkisinin arttıkça sürücülerin kabul ettiği aralık değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Saldırgan sürücüler(0.25) daha kısa aralıkları tercih ettiği için engelleyici manevranın etkisi bu tip sürücülerde daha az hissedilirken yavaş sürücülerin engelleyici manevraya bağlı olarak bekleme sürelerinin arttığı anlaşılmıştır. Engelleyici akımın etkisi ise farklı kantilerde farklı şekilde hissedilmektedir. Şekiller yorumlanırken engelleyici akım ile kabul değerleri arasında eksponansiyel bir ilişkinin olduğu unutulmaması gerekmektedir. Buna göre; kantil değerleri arttıkça engelleyici akımında etkisinin arttığı söylenebilir . Ancak unutulmaması gereken nokta şudur ki engelleyici akım arttıkça sürücülerin kabul edecekleri bekleme süreleri düşmektedir. Ayrıca düşük engelleyici akımlarda, yan yol sürücüler tarafından kabul edilen aralıklar, sürücü davranışlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Şerit sayısının kantil değerleri üzerindeki etkisi incelendiğinde, düşük kantil değerlerinden yüksek kantil değerlerine doğru gidildikçe şerit sayısı arttıkça sürücülerin kabul edecekleri aralık değerleri de artmaktadır.

Çalışma kapsamında anlaşılacağı üzere kantil değerlerinin sürücü davranışlarını nitelediği tespit edilmiştir. Her bir kantil değeri aynı bağımsız değişkenler yardımıyla modellenirse bile, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etki düzeyleri her bir kantil değerinde farklıdır. Bu nedenle, çalışma kapsamında elde edilen bağıntıların gelecekte ışsız kavşaklar ile ilgili yapılacak olan çalışmalara altlık sağlaması amacıyla sürücü davranış tiplerinin de dikkate alındığı genel bir modelle sunulmaya çalışılmıştır.

Akçelik [48], SIDRA TRIP programında 5 (beş) farklı sürücü tipi tanımlamıştır: çok saldırgan, saldırgan, normal, yavaş ve çok yavaş. Bu çalışmada da, benzer bir yaklaşımın sürücü davranışlarının aralık kabul değerinin tahmininde etkili olabileceği düşünülmüştür. Çalışmada sürücülerin saldırganlık düzeylerini belirleyici bir anket çalışması yapılmamıştır. Bu sebeple genel bir yaklaşımla farklı sürücü davranışlarını tanımlayabilecek aralıklar belirlenmeye çalışılmıştır.



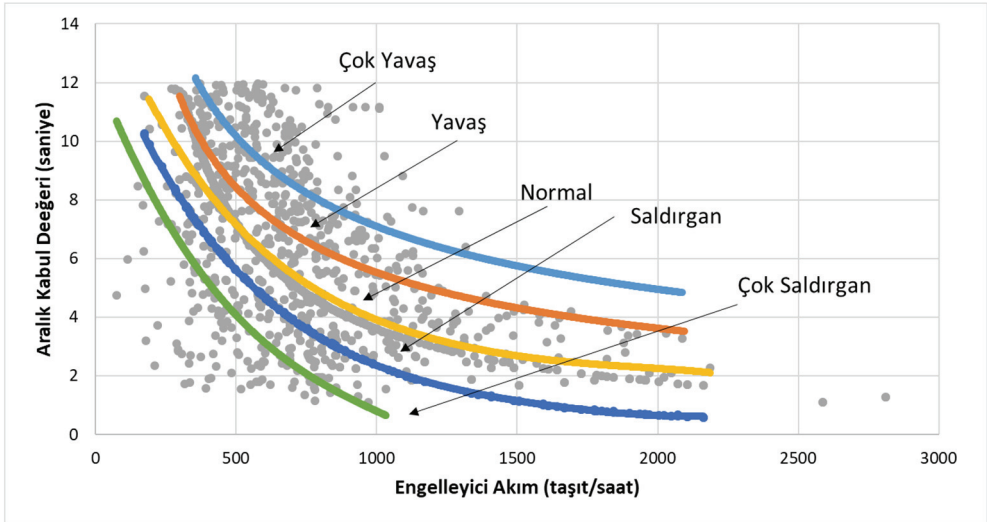
Şekil 12 - Farklı sürücü davranışlarını tanımlamak için kullanılan aralık değerleri.

Sürücü tiplerinin de dahil edildiği model oluşturulurken, sadece çeyreklik kantillere bağlı kalınmamıştır aynı zamanda farklı kantillere göre kurgulanan modellerde değerlendirilmiştir. SİDRA programında yer alan 5 farklı sürücü tipi referans alındığı için sürücü tipleri oluşturulurken gözlem verilerini en iyi kurgulayan 5 adet kantil değeri dikkate alınmıştır. Sürücü tiplerini niteleyen aralık değerlerinin seçiminde ise , gözlem verileri ve seçilen modeller arasındaki kalıntıların minimum olduğu diğer bir değişle gözlem verilerinin en iyi açıklandığı aralık değerleri dikkate alınmış olup sürücü tipleri kukla değişkenler yardımıyla bağımsız değişken olarak modele dahil edilmiştir. Sürücü tiplerini tanımlayan kukla değişkenlere ait şekil yukarıda yer almaktadır.

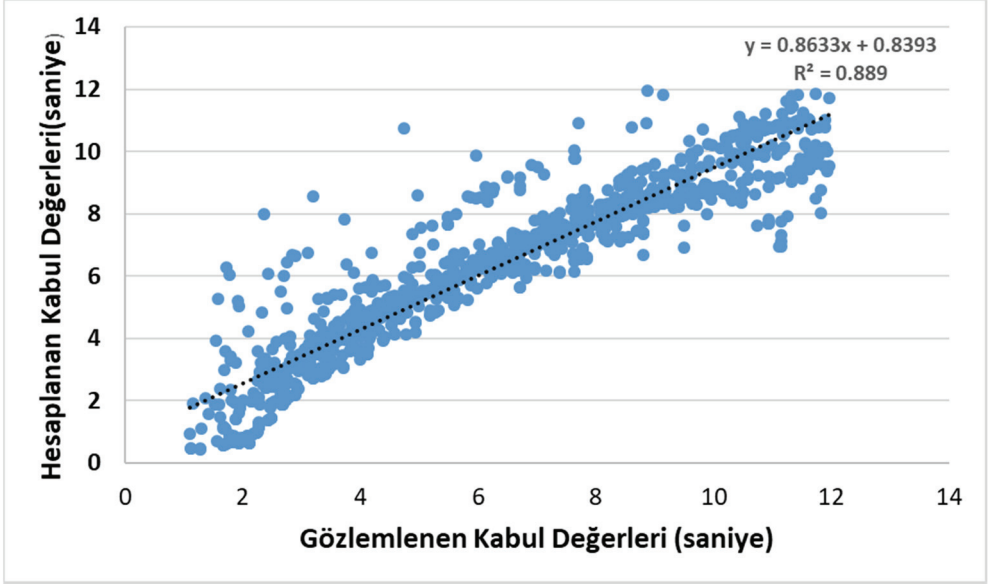
Kurgulanan regresyon modelinde bağımsız değişkenler olarak engelleyici akım (Q_{eng}), manevra (MNV), engelleyici manevra ($Op.MNV$), ana yol şerit sayısı (N), şerit genişliği (SG) ve sürücü tipi (ST) değerlendirmeye alınmıştır. Regresyon analizi daha öncede değinildiği gibi R programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en iyi sonuç aşağıdaki bağıntı ile elde edilmiştir.

$$T = 0,371 + 0,020Op.MNV + 0,002N + 13,78e^{(-0,001Q_{eng})} + 1.538ST \quad (10)$$

Bağıntıdan da görülebileceği üzere, yan yoldan kavşağa giriş yapan sürücülerin kabul ettikleri aralıklar, engelleyici akım, uygun aralık bulmaya çalıştıkları engelleyici manevra türü, ana yol şerit sayısı ve sürücü tipine bağlı olarak değişebilmektedir. Şekil 13'den de görülebileceği gibi, sürücü tipleri dikkate alındığında modelin daha fazla veriyi tanımlayabileceği anlaşılmaktadır. Nitekim model, sürücü tipleri de eklendiğinde gözlemlenen verileri neredeyse tam doğrulukla hesaplayabilmektedir (Şekil 14).



Şekil 13 - Sürücü tipleri de dikkate alınarak elde edilen aralık kabul değerleri ile gözlenen değerlerin engelleyici akıma bağlı değişimi



Şekil 14 - Sürücü tipleri de dikkate alınarak hesaplanan kabul değerleri ile gözlemlenen kabul değerleri arasındaki ilişki

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, ışıksız kavşaklarda sürücülere ait aralık kabul değerlerinin hesaplanabilmesi için yeni bir yaklaşım geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Sürücülerin aralık kabul değerlerinde en önemli etken, sürücülerin uygun aralık aradıkları akımın hacmidir. Engelleyici akım değeri arttıkça, sürücülerin kabul ettikleri aralık değeri de düşmektedir.
2. Sürücülerin kabul ettikleri aralık değerinin belirlenmesinde, sürücülerin yapacakları manevra etkili olsa da, esas belirleyici etkenlerden birisinin engelleyici manevra değeri olduğu anlaşılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda ışıksız kavşak dizayn edilirken engelleyici manevranın etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.
3. Diğer önemli bir parametre ise ana yoldaki şerit sayısıdır. Şerit sayısı arttıkça, sürücüler daha uzun aralıklar beklemek zorunda kalmaktadır.
4. Sürücü davranışının da önemli bir etken olabileceği, çalışma kapsamında bir kez daha vurgulanmıştır. Sürücülerin %47 si manevra türleri farklı olsa dahi aynı engelleyici akım karşısında aynı davranışı sergilemektedir. Kavşakların performans düzeyini yavaş/saldırgan davranış gösteren sürücülerin etkileyebileceği sonucuna varılmıştır. Özellikle düşük ana yol hacimlerinde değişken aralık kabul değerleri farklı sürücü davranışlarını işaret etmektedir.

5. Engelleyci akım hacmi arttıkça sürücülerin kabul aralıklarındaki farklılık azalmakta; tüm sürücüler kısa aralıklarda kavşağa giriş yapmaya çalışmaktadırlar.

Çalışma sonuçları, dört kavşak verisi ile sınırlıdır. Kavşak sayısı arttıkça, geometrinin aralık kabul değerleri üzerindeki etkisi daha sağlıklı bir şekilde anlaşılabilir. Yapılacak çalışmalarda, sürücülerin davranış özelliklerinin de belirlendiği araştırmalar, gerçek koşulları daha iyi tanımlayan modeller elde edilmesinde önemli yararlar sağlayabilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler TÜBİTAK 118M637 nolu araştırma projesi kapsamında elde edilmiştir. Yazarlar desteği nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür eder. Birinci yazar, doktora tez çalışmaları kapsamında verdiği destek nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne teşekkür eder.

Semboller

- I/R : Dönüş yapan taşıtların takip ettikleri yörüngenin eğrilik yarıçapı
 $E(t)$: "n" sayıda sürücü tarafından kabul edilen aralıklar için ortalama aralık değeri
 $F(a)$: Kabul edilen aralığın olasılık dağılım fonksiyon değeri
 $F(r)$: Reddedilen aralığın olasılık dağılım değeri
 $F_{T(t)}$: Kritik aralık kabul değerlerine ait olasılık dağılım fonksiyonunu
 $F_{K(t)}$: Kabul edilen aralıklara ait olasılık dağılım fonksiyonu
 $F_{R(t)}$: Reddedilen aralıklara ait olasılık dağılım fonksiyonunu
 G : Yolun eğimi
 $G(t)$: Bir aralığın kabul edilme olasılığı
 K : Bir katsayı
 K : Kritik aralık kabul değerlerinin alt sınırını (s)
 MNV : Manevra türü
 n : Kavşağa giren taşıt sayısı (taşıt)
 N : Sürücünün beklediği süre boyunca yoldan geçen taşıt sayısı (taşıt)
 N_t : "t" aralığında kavşağa girebilecek araç sayısı (taşıt)
 $Op.MNV$: Engelleyci manevra
 N : Şerit sayısı
 ST : Sürücü tipi
 $ŞG$: Şerit genişliği (m)
 t : Araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değeri (s)

t_o	: Doğrunun aralık eksenini kestiği nokta
t_0	: Yanyoldaki bir sürücünün kavşak DUR veya YOL VER çizgisine geldiği an (s)
t_d	: Kavşağa girilen an (s)
t_N	: N 'inci taşıtın yoldan geçtiği an (s)
T	: Yanyoldan ana yola katılmaya çalışan araçların, ana yoldaki araçlar arasında kabul edebilecekleri en uygun zaman cinsinden aralık değeri (s)
T_0	: Yanyoldan kavşağa giriş yapan araçlar arasındaki takip aralığı değeri (s)
T_o	: Doğru eğimi
T_l	: Kritik öne giriş aralığı (s)
T_g	: Seçilen aralığın kritik araya giriş aralığı
T_k	: Kritik aralık kabul değeri (s)
$T_{ksüt}$: Kritik aralık kabul değerinin üst sınırı (s)
y	: tahmin edilmek istenen değişken
y_{alt}	: Değişkenin alt limit değeri
$y_{üst}$: Değişkenin üst limit değeri
q_c	: Engelleyici akım değerini (taşıt/s)
Q_{eng}	: Engelleyici akım (taşıt/sa)
x	: Bağımsız değişken
ΔT	: Gözlenen değerler ile model arasındaki fark

Kaynaklar

- [1] Gedizlioğlu, E., Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, 1979.
- [2] Tanner, J. C., A Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection, *Biometrika*, 49(1/2), 163–170, 1962.
- [3] Tanyel, S., Türkiye'deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, 2001.
- [4] Utku, S.B., Yuvarlakada Kavşaklarda Kavşak İçi Gecikmelerin Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisi ve Buna Bağlı Kapasite Değişimlerinin Modellenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [5] Adams, W.F., Road Traffic Considered as a Random Series, *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 4(1), 121–130, 1936.

- [6] Haging, O., Roundabout Entry Capacity, Bulletin, 135, Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund, Sweden, 1996.
- [7] Haging O., Vehicle-Vehicle Interactions at Roundabouts and their Implications for the Entry Capacity, Lund Institute of Technology, 1998.
- [8] Fricker, J., Gutierrez, M. and Moffet, D., 1991. Gap acceptance, wait time and risk aversion at unsignalized intersections, *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 297–307.
- [9] Raff, M. S., Hart, J. W., A Volume Warrant for Urban Stop Signs, Eno Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuck, Connecticut, 1950.
- [10] Siegloch, W., Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen (Capacity Calculations at Unsignalized Intersections) (in German), *Series Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, No. 154, 1973.
- [11] Troutbeck, R.J., Brilon, W., Unsignalized Intersection Theory. In *Traffic Flow Theory A State of Art Report*, 8-1-8-44. Edited by Gartner, N., Messer, C.J., and Rathi, A.K., 1995.
- [12] Hewitt, R. H., (1985). “A comparison between some methods of measuring critical gap”. *Traffic Engineering and Control* 26(1), 13-22.
- [13] Miller, A.J., Nine Estimators for Gap-Acceptance Parameters. In: Newell, G. (Ed.), *Proceedings of the International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation*. Berkeley, California June, 1971.
- [14] Troutbeck, R.J., *Estimating the Critical Acceptance Gap from Traffic Movements*, Queensland University of Technology, 1992.
- [15] Tian, Z., Vandehey, M., Robinson, B. W., Kittelson, W., Kyte, M., Troutbeck, R., Wu, N. Implementing the Maximum Likelihood Methodology to Measure a Driver’s Critical Gap, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(3-4), 187–197, 1999.
- [16] Abou-Henaidy, M., Teply, S., Hunt J.D., Gap Acceptance Investigations in Canada. *Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity*. Australian Road Research Board, Transportation Research Board, 1, 1–20, 1994.
- [17] Radwan, A. E., Sinha, K.C., Gap acceptance and delay at stop controlled intersections on multilane divided highways, *Journal of Institute of Transportation Engineers*, 50, 3, 38–44, 1980.
- [18] Hamed, M. M., Easa, S. M., & Batayneh, R. R. (1997). Disaggregate gap-acceptance model for unsignalized T-intersections. *Journal of transportation engineering*, 123, 1, 36–42.
- [19] Solberg, P., Oppenlander, J., Lag and Gap Acceptance At Stop-Controlled Intersections. *Highway Capacity Record*, 118, 48–67, 1966.
- [20] Brilon, W., Koenig, R., Troutbeck, R.J., Useful Estimation Procedures for Critical Gaps, *Transportation Research, Part A*, 33, 161–186, 1999.

- [21] Dutta, M., Ahmed, M.A., Mod, J., Gap Acceptance Behavior of Drivers at Uncontrolled T-Intersections Under Mixed Traffic Conditions, *Transport*, 1–14, 2017.
- [22] Tian, Z.Z., Troutbeck, R., Kyte, M., Brilon, W., Vandehey, M., Kittelson, W., Robinson, B., A Further Investigation on Critical Gap and Follow-Up Time, 4th International Symposium on Highway Capacity; Maui, Hawaii, 2000.
- [23] Hagring, O., Estimation of Critical Gaps in Two Major Streams, *Transportation Research Part B: Methodological*, 34, 4, 293–313, 2000.
- [24] Weinert, A., Estimation of Critical Gaps and Follow-Up Times at Rural Unsignalized Intersections in Germany, 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii: Transportation Research Board, 409–421, 2000.
- [25] Wu, N., A New Model for Estimating Critical Gap and Its Distribution at Unsignalized Intersections Based on the Equilibrium of Probabilities, *Proceeding of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service*, Yokohama, Japan, 25–29, 2006.
- [26] Wu, N., Equilibrium of Probabilities for Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections, *Transportation Research Record*, 2286 (December), 49–55, 2012.
- [27] Vasconcelos, L., Álvaro S., Ana S., Comparison of Procedures to Estimate Critical Headways at Roundabouts, *PROMET – Traffic & Transportation*, 25, 1, 43–54, 2013.
- [28] Sinha, K.C., Tomiak, W.W., Section Gap Acceptance Phenomenon at Stop Controlled Intersections, *Traffic Engineering*, 41, 7, 28–33, 1971.
- [29] Madanat, S.M., Cassidy, M.J., Wang, M-H., Probabilistic Delay Model at Stop-Controlled Intersection, *J. Transp. Eng.*, 120, 21–36, 1994.
- [30] Çalışkanelli, S. P., ve Tanyel, S., Işıksız Kavşaklardaki Ana yol Araç Gecikmelerinin İrdelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24.6, 1093-1099, 2018.
- [31] Ozan C., Başkan, Ö., Ve Metin, M., Denetimsiz Eşdüzey Kavşakların Performans Analizi: Aydın Örneği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22.2, 637-648, 2020.
- [32] Velan, S.M., Van Aerde, M.V., Gap Acceptance and Approach Capacity at Unsignalised Intersections, *ITE Journal*, 66, 3, 40–45, 1996.
- [33] Zohdy, I., Sadek, S., Rakha, H., Empirical Analysis of Effects of Wait Time and Rain Intensity on Driver Left-Turn Gap Acceptance Behavior, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2173, 1–10, 2010.
- [34] Devarasetty, P.C., Zhang, Y., Fitzpatrick, K., Differentiating Between Left-Turn Gap and Lag Acceptance at Unsignalized Intersections as a Function of the Site Characteristics, *J. Transp. Eng.*, 138, 580–588, 2011.
- [35] Vasconcelos, L., Álvaro S., Ana S., Gilberto R., Estimation of Critical Headways at Unsignalized Intersections – A Microscopic Approach, *Advances in Transportation Studies* (1), 59–72, 2012.

- [36] Serag MS (2015) Gap-Acceptance Behaviour at Uncontrolled Intersections in Developing Countries. *Malays. J. Civ. Eng.*, 27, 80–93.
- [37] Liu, M., Lu, G., Wang, Y., Zhang, Z., Analyzing Drivers' Crossing Decisions at Unsignalized Intersections in China. *Transp. Res. Part. F Traffic Psychol Behav.*, 24, 244–255, 2014.
- [38] Russell, M., Stuber, G.L., Interchannel Interface Analysis of OFDM in a Mobile Environment, *IEEE 45th Vehicular Technology Conference*, Chicago, IL, 820–824., 1995.
- [39] Tsguhide, A., Magnus, S., Pilot Design for Frequency Offset Tracking in MIMO-OFDM System. *17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Helsinki, Finland, 1–5, 2006.
- [40] Wang, X., Yang, X., Study on Decision Mechanism of Driving Behavior Based on Decision Tree, *Journal of System Simulation*, 20, 2, 415–419, 2008.
- [41] Yinghi, L., Hlaing, M., Consistent Pilot Design for Frequency Offset Estimation in MIMO-OFDM System, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Honolulu, USA, 249–252, 2007.
- [42] Ashalatha, R., Chandra S., Critical Gap Through Clearing Behavior of Drivers at Unsignalised Intersections, *KSCE J. Civ. Eng.*, 15, 1427–1434, 2011.
- [43] Mohan M., Chandra, S., Critical Gap Estimation at Two-Way Stop-Controlled Intersections Based on Occupancy Time Data, *Transportmetrica A: Transport Science*, 14, 4, 316–329, 2018.
- [44] Kyte, M., Clemow, C., Mahfood, N., Lall, B.K., Khisty, C.J., Capacity and Delay Characteristics of Two-Way Stop-Controlled Intersections, *Transportation Research Record 1320*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 160–167, 1991.
- [45] Chandra, S., Agrawal, A., Rajamma, A., Microscopic Analysis of Service Delay at Uncontrolled Intersections in Mixed Traffic Conditions, *Journal of Transportation Engineering*, 135, 6, 323–329, 2009.
- [46] Tanyel, S., Çalışkanelli, S.P., Özuysal, M., A New Minimum Delay Model for Multi-Lane Traffic Circles, *İMO Teknik Dergi*, 33, 1, 11429–11454, 2022.
- [47] Horton, R.E., An Approach Toward a Physical Interpretation of Infiltration Capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 5, 399–417, 1940.
- [48] R Core Team, R: A Language And Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, URL: <https://www.Rproject.org>, 2023.
- [49] Koenker, R., Bassett Jr, G., Regression Quantiles, *Econometrica: Journal Of The Econometric Society*, 33-50, 1978.
- [50] StataCorp, L. L. C., *Stata Treatment-Effects Reference Manual: Potential Outcomes/Counterfactual Outcomes*, Release 15, 2017.

- [51] Lasdon, L.S., and Waren, A.D., Large Scale Nonlinear Programming, Computers and Chemical Engineering, 7, 5, 595–604, 1983.
- [52] Waren, A.D., and Lasdon, L.S., The Status of Nonlinear Programming Software, Operations Research, 27(3): 431–456, 1979.
- [53] Akçelik, R., SIDRA TRIP User Guide. Greythorn, Australia: Akçelik & Associates, 2011.
- [54] Koenker, R. Quantile Regression in R: A Vignette. <https://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/vignettes/rq.Pd>, 2019.