

Sinyalize Kavşaklarda Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Yetiş Şazi Murat, Ziya Çakıcı

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü - Denizli

Tel: (0 258) 296 33 57, (0 258) 296 34 33

E-Posta: ysmurat@pau.edu.tr, zcakici@pau.edu.tr

Öz

Gecikme, sinyalize kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların kavşağın geometrik özellikleri, kavşak yaklaşımındaki diğer taşıtlar ve kavşaktaki sinyalizasyon sistemleri nedeni ile kaybettiği zamandır. Bu parametre, kavşakların hizmet düzeylerinin ve işletim performanslarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Gecikme parametresi yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi olarak isimlendirilen üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Kavşaktaki ortalama gecikmenin tespit edilebilmesi için tüm yaklaşım kollarındaki taşıtlara ait bu üç bileşenin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu bileşenlere ait sayısal değerlerin belirlenmesi oldukça uzun zaman alan ve işgücü gerektiren bir işlemdir.

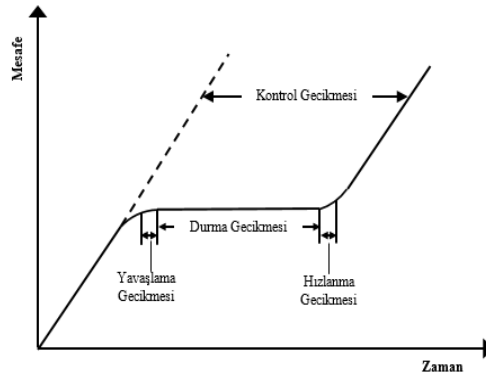
Bu çalışmada, durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve böylece gecikme ölçümü işlemi için zamandan ve işgücünden tasarruf edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, öncelikli olarak, Denizli - Pekdemir kavşağından 200 adet taşıta ait kontrol ve durma gecikmesi verileri alınmış ve bu veriler ışığında durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki ilişki matematiksel olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, yine aynı kavşaktan 50 adet taşıta ait kontrol ve durma gecikmesi verisi toplanmış ve bunun sonucunda gözlem kontrol gecikmesi değerleri ile oluşturulan matematik model kullanılarak elde edilen kontrol gecikmesi değerleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise, söz konusu kavşaktaki yaklaşım kollarından birisi 20 devre boyunca kamera ile gözlenmiş ve her bir devredeki ortalama taşıt gecikmeleri tespit edilmiştir. Daha sonra, aynı zaman periyodu için devre bazlı ortalama taşıt gecikmeleri matematiksel model yardımı ile hesaplanmıştır ve sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Yapılan istatistik değerlendirmelere göre, önerilen matematik model ile gözlem değerlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Önerilen modelin kullanılması durumunda, arazide gecikme ölçümü esnasında zamandan ve işgücünden önemli düzeyde tasarruf edilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Gecikme, Kontrol Gecikmesi, Durma Gecikmesi, Sinyalize Kavşak, Matematik Model

Giriş

Karayollarındaki trafik artışı ile birlikte, kritik kesimler olan kavşaklarda güvenliğin tam anlamıyla sağlanabilmesi için, trafiğin sinyalizasyon sistemleri ile yönetilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Sinyalizasyonlu denetimler, güvenlik açısından oldukça yararlı olmasına rağmen, bu tür denetimlerin uygulandığı kavşaklarda, trafik akımlarının sürekli ve düzenli hareketleri engellenmekte ve böylece seyahat sürelerinde artışlar görülmektedir. Seyahat süresindeki bu artışın temelini oluşturan artık/fazlalık zaman dilimi, kontrol gecikmesi olarak adlandırılmaktadır. Kontrol gecikmesi yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır (Dion ve diğ., 2004). Yavaşlama gecikmesi, kavşaktaki sinyalizasyon sistemine yaklaşan taşıt sürücüsünün, hızını azaltmaya başladığı andan itibaren, sinyalizasyon sistemi nedeni ile durmaya başladığı ana kadar geçen zaman dilimi olarak tanımlanmaktadır. Durma gecikmesi, taşıtın kırmızı sinyal gösterimi boyunca statik olarak kaldığı zaman dilimi olarak tanımlanırken, hızlanma gecikmesi ise sinyal gösterimi kırmızıdan yeşile döndükten sonra taşıtın tekrar önceki seyir hızına ulaşabilmesi için gereken zaman periyodu olarak tanımlanmaktadır (Murat ve Çakıcı, 2015). Sinyalize kavşak yaklaşım kolundaki bir taşıtın yörünge diyagramı ve gecikme bileşenleri Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1 Sinyalize Kavşak Yaklaşım Kolundaki Taşıtın Yörünge Diyagramı.

Şekil 1 dikkatle incelendiğinde, sinyalize kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların kontrol ve durma gecikmeleri arasında doğrusal bir bağıntı olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu bağıntının matematiksel olarak ifade edilmesi ile birlikte, arazideki gecikme ölçümleri için kolay, daha az işgücü ve zaman gerektiren yeni pratik bir yaklaşım da sunmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde, gecikme ile alakalı yapılan çalışmalardan örnekler sunulmaktadır. İkinci bölümde, Denizli-Pekdemir kavşağından toplanan 200 adet gecikme verisi ışığında, durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki matematiksel bağıntı elde edilmiş ve söz konusu modelin geçerliliği aynı kavşaktan toplanan 50 adet gecikme verisi kullanılarak test edilmiştir. Üçüncü bölümde, aynı kavşaktaki yaklaşım kollarından birisi 20 devre boyunca kamera ile gözlenmiş ve her bir devredeki şerit bazlı ortalama taşıt gecikmeleri tespit edilmiştir. Daha sonra, aynı zaman periyodu için ortalama gecikmeler, oluşturulan matematiksel model yardımı ile hesaplanmıştır ve sonuçlar arasında kıyaslama yapılmıştır. Bu bölümde son olarak, önerilen yaklaşımın devre ve şerit bazlı gecikme ölçümünde kullanılıp kullanılmayacağı istatistiksel olarak test edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Gecikme, sinyalize kavşakların performansının ve hizmet düzeyinin belirlenmesi için kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Bu parametre, arazi gözlemlerine dayalı olarak belirlenebildiği gibi analitik modeller yardımı ile de hesaplanabilmektedir. Webster, Akçelik, HCM gecikme bağıntıları, söz konusu analitik modellerden en çok kullanılanları ve en çok bilinenleridir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, hem sinyalize kavşaklardaki gecikmenin hesaplanması hemde arazide gecikmenin ölçülmesi ile alakalı çalışma sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Gecikme üzerine yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir: Mousa (2002) yapmış olduğu çalışmada sinyalize kavşaklarda hızlanma ve yavaşlama gecikmelerini ölçmek için yeni bir metodoloji sunmuştur. Çalışmada, sinyalize kavşakta duran taşıtların ortalama hızlanma gecikmesi 11.4 sn, ortalama yavaşlama gecikmesi ise 7.2 sn olarak tespit edilmiştir. Dion ve diğ. (2004) doygun altı ve doygun üstü durumlarda kavşaktaki gecikmeleri tahmin etmek amacıyla INTEGRATION isimli bir model önermişlerdir. Sonuç olarak, modelin hem doygun altı hem de doygun üstü durumlarda gecikmenin tahmininde oldukça başarılı sonuçlar sağladığı görülmüştür. Darma ve diğ. (2005), sinyalize kavşakta kontrol gecikmesini etkileyen değişkenleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, kontrol gecikmesi üzerinde devre süresinin, yeşiller arası sürenin, faz sayısının ve şerit sayısının oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Murat ve Başkan (2006) yapay sinir ağları yaklaşımı kullanarak bir gecikme tahmin modeli geliştirmişlerdir. Sonuç olarak modelin, doygun üstü ve üniform olmayan durumlarda oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Murat (2006) yapmış olduğu çalışmada, taşıt gecikmesini bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yeni yaklaşımlar kullanarak modellemiştir. Çalışma sonucunda, arazi gözlemleri ile bulanık mantık yaklaşımı modeli sonuçlarının hem doygun altı, hem de doygun üstü durumlar için, benzer olduğu belirtilmiştir. Ban ve diğ. (2009) ölçülen seyahat sürelerini kullanarak kavşak gecikme modellerini tahmin etmek için kullanılacak yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Sekhar ve diğ. (2013), Ahmedabad şehrindeki sinyalize kavşaklarda taşıtların, duruş süreleri boyunca gecikmelerini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Akgüngör ve Korkmaz (2016), yapmış oldukları çalışmada, trafik hacmi, devre süresi ve yeşil süre oranı gibi parametrelerin durma ve kontrol gecikmeleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Martin ve diğ. (2016), iki şeritli yolların hizmet düzeyini belirlemek için, taşıt gecikmelerini bulanık mantık yöntemi ile modelleme konusu üzerinde çalışmışlardır.

Gecikme modellerinden ilki olan Webster modelinin 1958 yılında öne sürüldüğü göz önünde bulundurulduğunda, gecikme ile alakalı çalışmaların yaklaşık olarak 60 yıldır devam ettiği söylenebilir. Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere, konu bugün hala geçerliliğini korumakta ve çalışılmaya devam etmektedir.

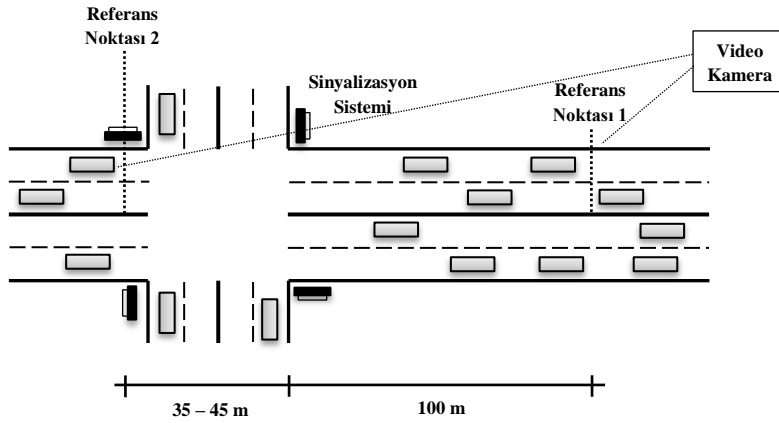
Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişki

Durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve bu ilişkinin geçerliliğinin test edilmesi çalışmaları 3 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, arazi çalışmalarını kapsamaktadır. Bu aşamada, Denizli' de bulunan Pekdemir kavşağından, 250 adet taşıta ait kontrol gecikmesi ve durma gecikmesi verileri toplanmıştır. İkinci aşamada, toplanan gecikme verileri ofis ortamında düzenlenmiş ve rastgele seçilen 200

adet veri kullanılarak, durma gecikmesi ile kontrol gecikmesi arasındaki bağıntı matematiksel olarak elde edilmiştir. Son aşamada ise, modelin geçerliliği test edilmiştir.

Arazi Çalışmaları

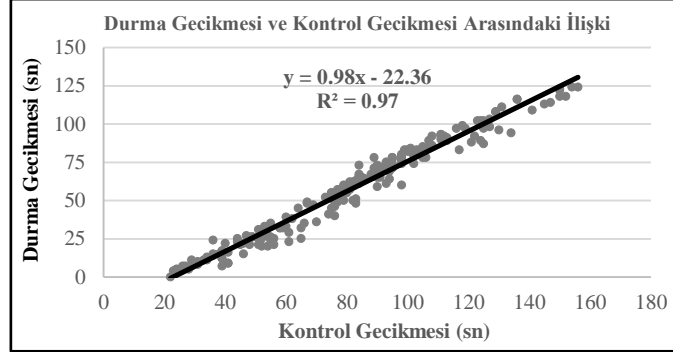
Çalışma kapsamında, gecikme gözlemleri şu şekilde yapılmıştır: Öncelikli olarak, yaklaşım kollarındaki taşıtların, kavşaktaki sinyalizasyon sisteminden dolayı seyir hızlarını azaltmaya başladıkları nokta (Referans noktası 1) belirlenmiştir. Önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu noktanın, sinyalizasyon sisteminin yaklaşık 100 metre öncesinde bulunan bir yerde alınması uygun görülmektedir (Murat, 2001). Daha sonra ise, sinyalizasyon sisteminden dolayı kavşakta bekleyen taşıtın yeşil sinyal gösterimi ile hızını tekrar sabit seyir hızına ulaştırdığı nokta (Referans noktası 2) tespit edilmiştir (Akgüngör ve Korkmaz, 2016). Son olarak, referans noktalarını aynı anda görebilen bir noktaya video kamera yerleştirilmiş ve veri toplama işlemleri Şekil 2’de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2 Sinyalize Kavşakta Veri Toplama İşlemi.

Ofis Çalışmaları ve Analizler

Bu aşamada öncelikli olarak, Pekdemir kavşağından toplanan veriler ofis ortamında analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı, durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki bağıntının matematiksel olarak belirlenmesi olduğu için, durma gecikmesinin söz konusu olmadığı gecikme verileri analizlerde dikkate alınmamıştır. Çalışmanın bu aşamasında, öncelikli olarak, rastgele seçilen 200 farklı taşıta ait kontrol ve durma gecikmeleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Daha sonra, basit doğrusal regresyon modeli kullanılarak, durma ve kontrol gecikmesi arasındaki ilişki belirlenmiştir. Şekil 3, söz konusu 200 farklı veri için, kontrol gecikmelerine karşılık gelen durma gecikmelerinin dağılımını göstermektedir.



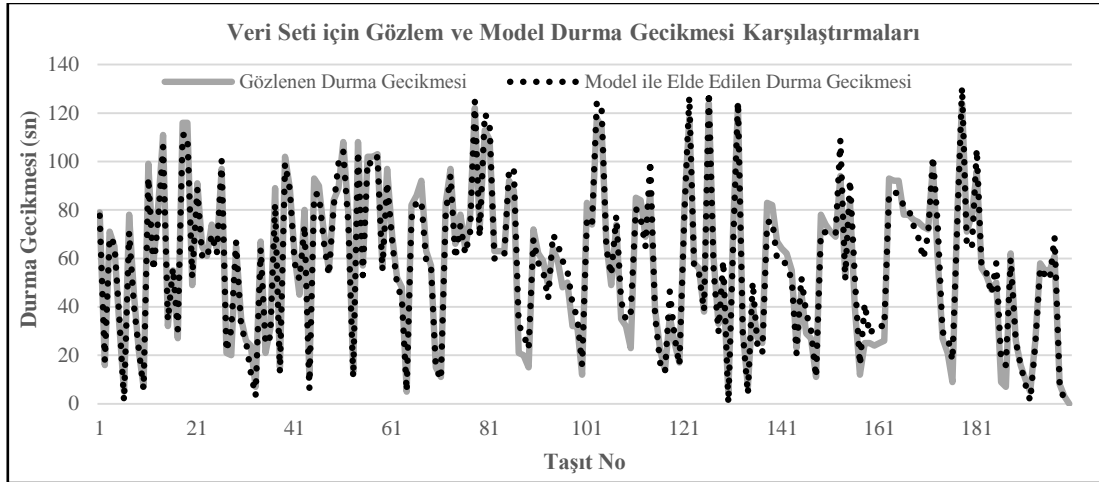
Şekil 3 Oluşturulan Veri Seti için Durma Gecikmesi – Kontrol Gecikmesi Dağılımları. Şekil 3’ den de görüldüğü üzere, durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasında doğrusal bir bağıntı olduğu açıktır. Yapılan basit doğrusal regresyon analizinde, bu iki değişken arasında Denklem 1’ deki gibi bir bağıntı elde edilmiştir.

$$G_d = 0.98 \times G_k - 22.36 \quad (1)$$

Burada;

G_d : Durma gecikmesi (sn) ve G_k : Kontrol gecikmesi (sn)’ ni temsil etmektedir.

Denklem 1 için, belirleme katsayısı değeri ($R^2 = 0.97$) mertebesinde elde edilmiş olup, bu değer 1’ e yakındır. Sonuç olarak, elde edilen denklemin temsiliyet düzeyinin oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki ilişkinin matematiksel olarak belirlenmesinin ardından, veri seti için, gözlenen durma gecikmeleri ve model ile elde edilen durma gecikmeleri Şekil 4’ de gösterildiği gibi birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4 dikkatle incelendiğinde, elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu ve modelin temsiliyet düzeyinin oldukça yüksek olduğu kolay bir şekilde görülebilir.



Şekil 4 Veri Seti için Gözlem ve Model Durma Gecikmesi Karşılaştırmaları.

Model Geçerlilik Testi Çalışmaları

Geçerlilik testi çalışmaları, bir önceki aşamada analiz edilen ve modelleme çalışmaları için kullanılan veriler haricindeki 50 adet test verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu

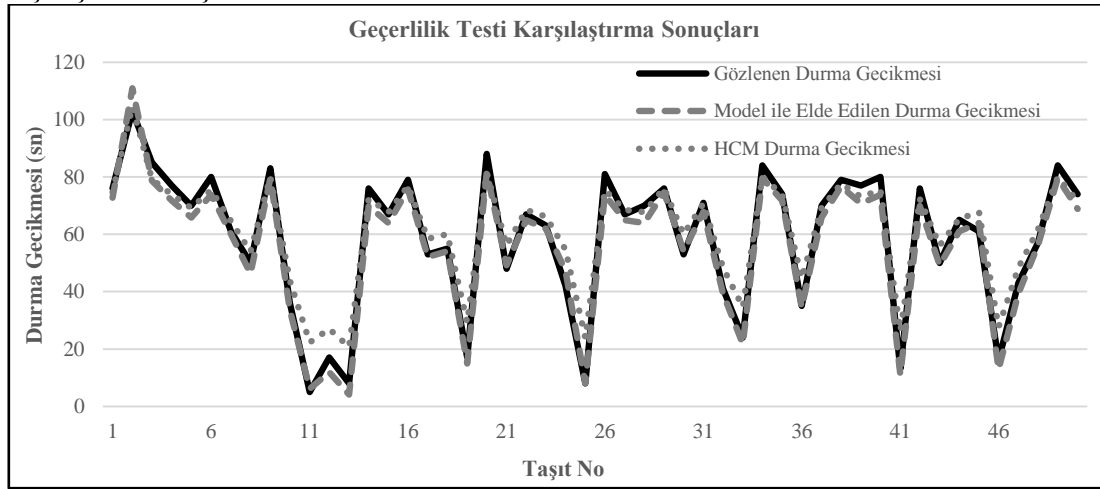
aşamada gözlenen durma gecikmesi verileri, hem model sonuçları ile hem de HCM 94 modeli ile karşılaştırılmıştır. HCM (TRB, 1994), durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki bağıntıyı Denklem 2' de gösterildiği şekilde belirtmektedir:

$$G_d = 0.76 \times G_k \quad (2)$$

Burada;

G_d : Durma gecikmesi (sn) ve G_k : Kontrol gecikmesi (sn)' ni temsil etmektedir.

Karşılaştırma çalışmalarının yanı sıra, her iki model için, ortalama hata kareleri tespit edilerek, modellerin güvenilirliği ayrı ayrı incelenmiştir. Geçerlilik testi için yapılan karşılaştırmalar Şekil 5' de sunulmaktadır.



Şekil 5 Geçerlilik Testi Karşılaştırma Sonuçları.

Sonraki aşamada, hem önerilen model hem de HCM modeli için ayrı ayrı ortalama karesel hata değerleri hesaplanmıştır. Bu değer, önerilen model için 15.82 olarak elde edilirken, HCM modeli için 47.30 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında, önerilen modelin gerçek durumu temsiliyet düzeyinin yüksek olduğu söylenebilir.

Gecikme Hesabı için Yeni bir Yaklaşım

Çalışmanın bu bölümü, iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, geleneksel gecikme hesabı yaklaşımı ve önerilen yeni hesap yaklaşımı ile ilgili detaylardan bahsedilirken, ikinci kısımda önerilen yaklaşımın geçerliği istatistiksel testler ışığında araştırılmıştır.

Gecikme Hesap Yaklaşımları

Bu kısımda, öncelikli olarak, Pekdemir/Denizli kavşağındaki yaklaşım kollarından birisine ait iki şerit, yaklaşık 20 devre boyunca video kamera kullanılarak gözlemlenmiş ve her iki şerit için ofis ortamında devre bazlı ortalama taşıt gecikmeleri hesaplanmıştır. Şerit ve devre bazlı ortalama taşıt gecikmeleri Denklem 3' de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$G_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{çıkış}_i} - t_{\text{giriş}_i}}{n} \quad (3)$$

Burada;

G_o : Şerit ve devre bazlı ortalama taşıt gecikmesini (sn/ta); $t_{\text{çıkış}_i}$: i nolu taşıtın kavşağı terkettiği süreyi (sn); $t_{\text{giriş}_i}$: i nolu taşıtın yavaşlamaya başladığı süreyi (sn); n : Analiz edilen devre için şerit bazlı toplam taşıt sayısını belirtmektedir.

Çalışma kapsamında, Denklem 3 kullanılarak hesaplanan şerit ve devre bazlı ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 1’ de sunulmaktadır.

Tablo 1 Analiz Edilen İki Şerit için Hesaplanan Ortalama Taşıt Gecikmeleri.

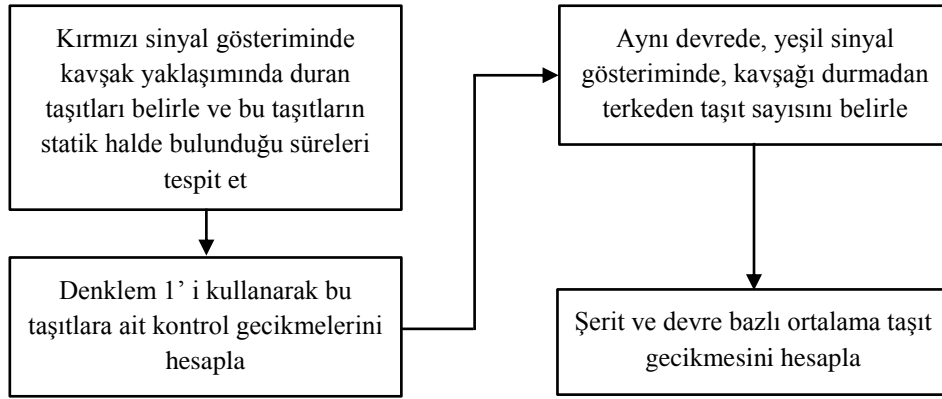
Şerit 1 Devre bazlı Ortalama Taşıt Gecikmeleri (sn/ta)				Şerit 2 Devre bazlı Ortalama Taşıt Gecikmeleri (sn/ta)			
Devre No	Ortalama Gecikme	Devre No	Ortalama Gecikme	Devre No	Ortalama Gecikme	Devre No	Ortalama Gecikme
1	19.18	11	24.56	1	21.80	11	40.75
2	16.36	12	15.53	2	23.20	12	31.60
3	18.31	13	31.58	3	15.58	13	39.29
4	18.44	14	20.41	4	20.70	14	32.90
5	29.41	15	20.71	5	22.00	15	17.80
6	15.46	16	26.06	6	19.22	16	32.10
7	23.75	17	18.54	7	21.75	17	30.30
8	28.86	18	14.08	8	30.28	18	28.60
9	17.58	19	29.48	9	22.64	19	48.85
10	26.33	20	26.82	10	20.00	20	23.94

Denklem 3’ den de görüldüğü üzere, geleneksel ortalama gecikme hesabı oldukça detaylı bir çalışma süreci gerektirmektedir. Çünkü bu yaklaşımda, her bir taşıt ayrı ayrı incelenmekte ve bu durum, çok fazla işgücü ve zaman kaybına yol açmaktadır. Bu yüzden, çalışmanın bu bölümünde, zaman ve işgücü kayıplarını azaltmak amacıyla, yeni bir gecikme hesap yaklaşımı önerilmiştir.

Önerilen yaklaşım ile, öncelikli olarak, kırmızı ışıkta duran taşıtların yalnızca statik halde buldukları süreler tespit edilmelidir. Ayrıca, durma gecikmesi görülmeyen taşıtlar için, kavşak yaklaşımında statik halde bulunma durumu söz konusu olmadığından, bu taşıtların ortalama gecikmelerinin bilinmesi gerekmektedir. Önerilen yeni yaklaşım zaman ve işgücü kaybını önlemek amaçlı olduğundan, durmayan taşıtların ayrı ayrı kontrol gecikmesi ölçümlerinin yapılması yerine, literatürdeki sayısal verilerden yararlanılması en doğru seçenek olacaktır. Mousa (2002), yapmış olduğu çalışmada, kavşak yaklaşımında durmaya maruz kalmayan taşıtların kontrol gecikmelerinin yaklaşık 15 sn’ ye kadar çıkabildiğini vurgulamıştır. Murat (2001), yapmış olduğu çalışmada, yeşil sinyal gösterimi durumunda kavşak yaklaşımındaki sinyalizasyon sistemine yaklaşan ve durmayan taşıtların hızlarının yaklaşık 35 – 40 km/sa olduğunu belirtmiştir. Çakıcı (2014), yapmış olduğu çalışmada, kavşakta durmayan taşıtların çeşitli nedenlerden (diğer taşıtlar, kavşak geometrisi vb.) dolayı 7 ila 20 sn arasında geciktiklerini tespit etmiştir. Taşıtların, yaklaşım kolunda oluşan

kuyruklanmaya takılmaması durumunda bu süre yaklaşık 7 sn iken, kuyruklanmaya takılması durumunda bu süre yaklaşık 21 sn' dir. Elde edilen bulgular, Quiroga ve Bullock tarafından 1999 yılında yapılan çalışma (Quiroga ve Bullock, 1999) sonuçlarını da tam anlamıyla desteklemektedir.

Şekil 2' de Referans noktası 2 ve Referans noktası 1 arasındaki mesafenin yaklaşık olarak 135-140 metrelik bir mesafe olduğu görülmektedir. Yeşil sinyal gösterimi durumunda bu kesimdeki ortalama hızın yaklaşık 40 km/sa (11.11 m/sn) olduğu kabul edildiği takdirde, taşıt söz konusu kesimi yaklaşık 12 sn' de katetmektedir. Bu yüzden, durmayan taşıtlar için alınacak 12 sn' lik kontrol gecikmesinin, literatür çalışmaları ile de kıyaslandığında, mantıklı bir değer olduğu söylenebilir. Bu verilerden yola çıkarak, şerit ve devre bazlı ortalama taşıt gecikmesinin bulunması işlemi daha kolay bir hale getirilmektedir. Şekil 6' da şerit ve devre bazlı ortalama taşıt gecikmesinin hesabı için önerilen yeni yaklaşımın hesap adımları sunulmaktadır.



Şekil 6 Şerit ve Devre bazlı Gecikme Hesabı için Önerilen Yaklaşım Hesap Adımları.

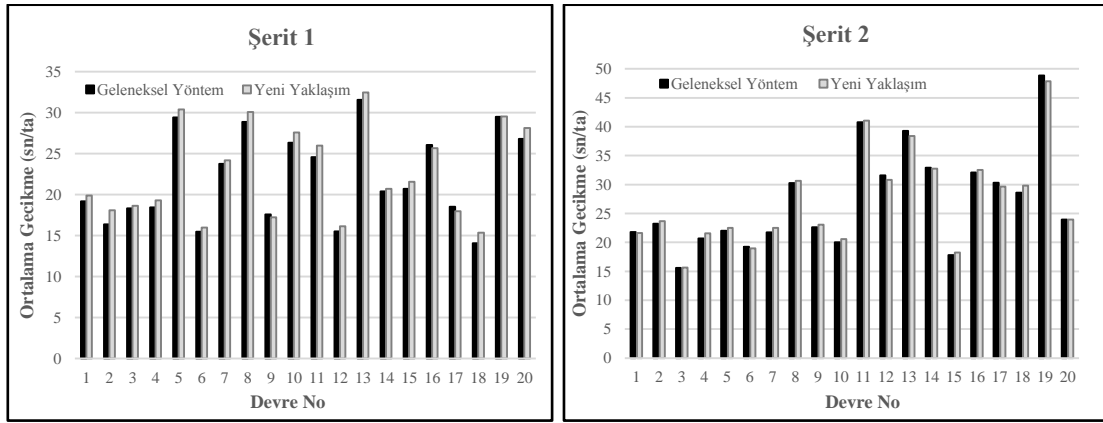
Şekil 6' dan da görülebildiği üzere, şerit ve devre bazlı gecikme ölçümü için önerilen yeni yaklaşım, Denklem 4' deki gibi formüle edilebilir:

$$G_o = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{G_{d_i} + 22.36}{0.98} \right) \right) + (k \times 12)}{(n + k)} \quad (4)$$

Burada;

G_o : Şerit ve devre bazlı ortalama taşıt gecikmesini (sn/ta); n : Sinyalizasyon sistemi nedeniyle, kırmızı sinyal gösteriminde durmaya maruz kalan taşıt sayısını; G_{d_i} : Kırmızı sinyal gösterimi nedeniyle duran i . taşıtın statik halde bulunduğu zaman periyodunu (sn); k : Sinyalizasyon sistemi nedeniyle durmaya maruz kalmayan, yeşil sinyal gösteriminde kavşağı girip yeşil sinyal gösteriminde kavşağı terkeden taşıt sayısını belirtmektedir.

Önerilen yeni yaklaşım, tüm taşıtların ayrı ayrı incelendiği diğer yaklaşıma kıyasla daha karmaşık görülmektedir. Fakat, yeni yaklaşımda genel itibariyle yalnızca kavşakta statik halde bulunan taşıtlar incelendiği için, hesaplama aşamasında gerekli olan işgücü ve zaman gereksinimi çok daha azdır. Bu durum, arazideki gecikmenin ölçülmesinde büyük bir kolaylığı beraberinde getirmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, Pekdemir/Denizli kavşağında 20 devre boyunca video kamera yardımı ile izlenen iki şerit için devre bazlı ortalama gecikmeler, önerilen yeni gecikme hesap yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Daha sonra, yeni yaklaşım kullanılarak elde edilen devre ve şerit bazlı ortalama gecikme değerleri, her bir taşıtın ayrı ayrı analiz edilmesi ile elde edilen ortalama gecikme değerleri (Tablo 1) ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Şekil 7’ de grafiksel olarak sunulmaktadır.



Şekil 7 Ortalama Gecikme için Geleneksel Yöntem ve Yeni Yaklaşım Karşılaştırması.

Şekil 7’ den görüldüğü üzere, Geleneksel yöntem ve önerilen yeni yaklaşım ile elde edilen devre ve şerit bazlı ortalama taşıt gecikmeleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar her ne kadar benzerlik gösterse de, bu benzerliğin istatistiksel olarak da açıklanması gerekmektedir. Bu yüzden, çalışmanın bir sonraki bölümünde yeni yaklaşımın geçerliği istatistiksel olarak incelenmiştir.

İstatistiksel Testler

Çalışmanın bu bölümünde, şerit ve devre bazlı gecikme ölçümünde, önerilen yeni yaklaşımın, geleneksel yaklaşımın yerine kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Bunun için öncelikli olarak, 20 devre boyunca hem geleneksel yöntem hem de yeni yaklaşım ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin normal dağılıma uyup uymadıkları SPSS programı vasıtası ile analiz edilmiştir.

Verilerin normal dağılıma uyup uymadığını belirlemek için kullanılan en önemli istatistiksel testlerden birisi de Shapiro-Wilk testidir. Shapiro-Wilk testi güçlü bir dağılım testidir ve Kolmogorov-Smirnov dağılım testine göre daha fazla tercih edilmektedir. Bu yüzden, verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığını tespit etmek

amacıyla Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Shapiro-Wilk dağılım testi sonuçları Tablo 2' de sunulmaktadır.

Tablo 2 Shapiro-Wilk Dağılım Testi Sonuçları.

Veri Seti	Çarpıklık Değeri	Basıklık Değeri	Anlamlılık Düzeyi
Geleneksel Yöntem	1.115	1.530	0.008
Yeni Yaklaşım	1.020	1.178	0.009

H₀ : Veriler normal dağılıma uygundur (Eğer anlamlılık düzeyi > 0.05)
H_a : Veriler normal dağılıma uygun değildir (Eğer anlamlılık düzeyi < 0.05)

Veri setleri için, anlamlılık düzeyleri 0.05' den küçük ise H₀ hipotezi reddedilmekte ve verilerin normal dağılıma uygun olarak dağılmadığı belirtilmektedir. Tablo 2 dikkatle incelendiğinde, her iki veri seti için de anlamlılık düzeylerinin 0.01 mertebesi civarında ve 0.05' den küçük olduğu açıkça görülmektedir. Buna göre, her iki veri setinin de normal dağılıma uygun bir dağılım göstermediği söylenebilmektedir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında geleneksel yöntem ile yeni yaklaşım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığının bulunup bulunmadığının tespit edilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında incelenen veri setleri normal dağılıma uygun olmadığı için, bu aşamada, parametrik olmayan bir hipotez testi kullanılmalıdır. Mann-Whitney U testi, iki bağımsız grup arasındaki farklılıkların testi için kullanılmaktadır (Kalaycı, 2006). Bu yüzden, bu bölümde, geleneksel yöntem ile yeni yaklaşım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunup bulunmadığının tespit etmek amacıyla Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Test sonucunda elde edilen veriler Tablo 3' de verilmektedir.

Tablo 3 Mann-Whitney U Testi Sonuçları.

	Devre ve Şerit bazlı Ortalama Gecikme
Mann-Whitney U	767.000
Wilcoxon W	1587.000
Z	-.318
Varsayılan anlamlılık düzeyi (2-tailed)	.751

p anlamlılık düzeyini göstermek üzere;
Eğer p<0.05 ise veri setleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır
Eğer p>0.05 ise veri setleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur

Tablo 3 dikkatle incelendiğinde, analiz sonucunda elde edilen anlamlılık düzeyinin (p=.751), 0.05' den büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, geleneksel yöntem ile önerilen yeni yaklaşım arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı söylenebilmektedir. Buna göre, devre şerit bazlı gecikme ölçümünde, önerilen yeni yaklaşımın, geleneksel yaklaşımın yerine kullanılabilceği açıkça görülmüştür.

Sonuçlar

Bu çalışmada, öncelikli olarak, durma gecikmesi ve kontrol gecikmesi arasındaki bağıntı basit doğrusal regresyon modeli kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra, modelin geçerliliği, araziden toplanan 50 adet gecikme verisi ile test edilmiş ve sonuç olarak, ortalama karesel hata değerinin oldukça düşük olduğu (15.82) tespit edilmiştir.

Bunun yanı sıra, geçerlilik testi çalışmalarında, oluşturulan model sonuçları HCM model sonuçları (ortalama karesel hata değeri: 47.30) ile kıyaslanmış ve oluşturulan modelin daha başarılı sonuçlar sağladığı görülmüştür.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde, devre ve şerit bazlı ortalama gecikme hesabı için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım ile, kavşaklardaki gecikme ölçümünde, zaman ve işgücü bakımından önemli oranda kazanımlar sağlanılabileceği tespit edilmiştir. Geleneksel devre ve şerit bazlı ortalama gecikme hesabında her bir taşıt ayrı ayrı analiz edilirken, önerilen yeni yaklaşımda yalnızca sinyalizasyon sisteminden dolayı kavşak yaklaşımında duran taşıtlar analiz edilmektedir. 20 devre boyunca 2 şerit için yapılan test çalışmasında, yeni yaklaşım ile gecikme ölçümü ve analiz sürecinin yaklaşık %75 oranında azaltılabildiği görülmüştür. Bu bölümde, önerilen yaklaşımın geçerliliği istatistiksel testlerle de kanıtlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu, önerilen yaklaşımın, kavşağın yalnızca doygun altı durumda işlemesi durumunda etkin bir şekilde kullanılabileceğidir. Doygun üstü durum söz konusu olduğunda, kavşak yaklaşımlarında aşırı kuyruklanma görüleceği için, önerilen yaklaşım gerçek veya gerçeğe yakın sonuçlar sağlamayacaktır. Sonuç olarak, çalışmanın doygun altı durumdaki kavşaklarda gecikmenin ölçümü aşamasında araştırmacıya zaman, işgücü vb. açısından kolaylıklar sağlayacağı açıktır.

Kaynaklar

Akgüngör, A. P., Korkmaz, E. (2016) Analysis and Modelling of the Relationship between Stopped and Control Delays by Differential Evolution Algorithm, The Open Civil Engineering Journal, 10, pp. 266-279.

Ban, X., Herring, R., Hao, P., Bayen, A. M. (2009) Delay Pattern Estimation for Signalized Intersections Using Sampled Travel Times, Journal of the Transportation Research Board, 2130-14, pp. 109-119.

Çakıcı, Z. (2014) Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Denizli.

Darma, Y., Karım, M. R., Mohamad, J., Abdullah, S. (2005) Control Delay Variability at Signalized Intersection based on HCM Method, Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, pp. 945-958.

Dion, F., Rakha, H., Kang, Y. S. (2004) Comparison of Delay Estimates at Under-Saturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections, Transportation Research Part B: Methodological, 38 (2), pp. 99-122.

Highway Capacity Manual (1994) National Research Council, Washington, D.C.

Kalaycı, Ş. (2006) SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., II. Baskı.

Martin, S., Romana, M. G., Santos, M. (2016) Fuzzy Model of Vehicle Delay to Determine the Level of Service of Two-Lane Roads, Expert Systems With Applications, 54 (2016), pp. 48-60.

Mousa, R. M. (2002) Analysis and Modeling of Measured Delays at Isolated Signalized Intersections, Journal of Transportation Engineering, 128 (4), pp. 347-354.

Murat, Y. Ş. (2001) Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Murat, Y. S., Baskan, Ö. (2006) Modeling Vehicle Delays at Signalized Junctions: Artificial Neural Networks Approach, Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR), 65, pp. 558-564.

Murat, Y. S. (2006) Comparison of Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Approaches in Vehicle Delay Modeling, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 14 (5), pp. 316-334.

Murat Y. Ş., Çakıcı, Z. (2015) Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Taşıt Gecikmesi Problemi Üzerine Uygulaması, 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Trabzon-Türkiye, Kasım 13-14, pp. 615-625.

Quiroga, C. A., Bullock, D. (1999) Measuring Control Delay at Signalized Intersections, Journal of Transportation Engineering, 125 (4), pp. 271-280.

Sekhar, C. R., Raj, P., Parida, P., Gangopadhyay, S. (2013) Estimation of Delay and Fuel Loss during Idling of Vehicles at Signalized Intersection in Ahmedabad, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 104 (2013), pp. 1178-1187.