

Araştırma Makalesi

ALTERNATİF DLT SİNYALİZE KAVŞAĞIN SİMÜLASYON İLE ANALİZ EDİLMESİ

Hüseyin YILMAZ[†], Mustafa ILICALI^{††}[†] İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı, İstanbul, Türkiye^{††} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sütlüce, İstanbul, Türkiye**huseyin-yilmaz@outlook.com.tr, milicali@ticaret.edu.tr**

0009-0001-4608-4508, 0000-0001-6453-7753

Atıf/Citation: YILMAZ, H., ILICALI, M., (2024). Alternatif Dlt Sinyalize Kavşağın Simülasyon ile Analiz Edilmesi, Journal of Technology and Applied Sciences 7(2) s.213-235, DOI: 10.56809/icujtas.1494087

ÖZET

Dünya genelindeki kavşak uygulamalarına bakıldığında Eşdüzey Kavşaklar ve Farklı Düzeyli Kavşaklar arasında geleneksel olmayan yeni kavşak tasarımları ortaya çıkmıştır. Displaced left turn (DLT, Yerinden edilmiş sola dönüş) kavşak tasarımı da geleneksel olmayan kavşak tasarımlarından birisidir. Bu kavşaklar literatürde Continuous flow intersection (CFİ, Sürekli akış kesişimleri) olarak da bilinirler. Bu makalede DLT kavşak tasarımına alternatif yeni bir kavşak tasarımı oluşturulmuştur. Bu tasarım geleneksel sinyalize kavşak tasarımı ile beş ayrı araç hacim senaryosunda PTV Vissim ve Synchro simülasyon programları ile analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; ortalama gecikme süresinde %61.54, ortalama hızda %101.70, toplam seyahat süresinde %33.82, toplam gecikme süresinde %51.74 iyileşme olduğu görülmüştür.

Alternatif DLT tasarımının, DLT tasarımına göre daha küçük kavşak alanlarında uygulanabilecek bir tasarım olması sebebiyle dar kentsel alanlarda çözüm olarak uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif DLT, sinyalize kavşak, yenilikçi kavşak, DLT, CFI

ANALYSIS OF ALTERNATIVE DLT SIGNALIZED INTERSECTION WITH SIMULATION

ABSTRACT

When we look at intersection applications around the world, new non-traditional intersection designs have emerged between At-Grade Intersections and Different Level Intersections. Displaced left turn (DLT) intersection design is also one of the non-traditional intersection designs. These intersections are also known as Continuous flow intersections (CFI) in the literature. In this paper, a new intersection design has been created as an alternative to the DLT intersection design. This design was analyzed and compared with the traditional signalized intersection design in five different vehicle volume scenarios with PTV Vissim and Synchro simulation programs. According to the analysis results; It was observed that there was an improvement of 61.54% in average delay time, 101.70% in average speed, 33.82% in total travel time, and 51.74% in total delay time.

It has seen that alternative DLT design can be preferred as a solution in narrow urban areas because it is a design that can be applied in smaller intersection areas compared to the DLT design.

Keywords: Alternative DLT, signalized intersection, innovative intersection, DLT, CFI

Geliş/Received : 01.06.2024
Gözden Geçirme/Revised : 08.07.2024
Kabul/Accepted : 24.07.2024

1. GİRİŞ

Kavşak, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ve ayrılması ile oluşan ortak alandır. Kavşaklar genellikle üç veya dört kollu olup, dörtten fazla kollu olması arzu edilmez (KGM, 2005).

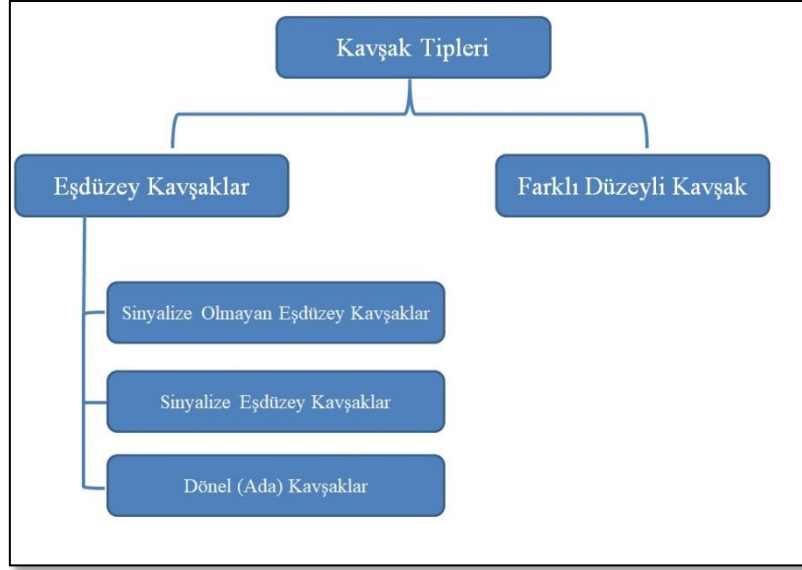
Kavşaklar karayolunun önemli bir unsurudur. Bunun nedeni, yolun performansı, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite gibi özelliklerin kavşakların tasarımına bağlı olmasıdır. Kavşaklar iki veya daha çok karayolundaki doğrusal veya kesişen trafik akışlarını kapsadığı gibi, bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini de içerir. Bu hareketler, kavşak tipine bağlı olarak, çeşitli geometrik tasarımlar ve trafik kontrolü ile sağlanır (KGM, 2005). Nüfus istatistiklerine bakıldığında dünyada ve ülkemizde kırsaldaki nüfus azalmakta, kentlerde ise nüfus artmaktadır. Gün geçtikçe artan nüfus sonucunda kent içi karayollarında var olan trafik problemlerinin artması, herhangi bir trafik problemi olmayan kentlerde ise trafik sorunları oluşturması beklenir.

İstatistiklere göre, hemen her ülkede, kent içi ve kırsal yollarda, trafik kazalarının %40-%60'ı birden fazla yolun birleşmesi veya kesişmesi ile oluşan bu eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan, özellikle kent içi ulaşımında, gecikmelerin %70'den fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır. Bu iki husus yol ve trafik mühendisliğinde kavşaklara özel önem verilmesinin başlıca sebepleridir (Yayla, 2004).

Sanayileşme süreciyle başlayan ekonomik gelişme ve nüfusun artışı ile taşıt sayıları giderek artmaktadır. Bu artış özellikle şehir içi trafik ağlarında çeşitli sorunların oluşmasına yol açmaktadır. Bu sorunların başında trafik kazaları, çevre kirliliği, trafik sıkışıklıkları ve gecikmeler gelmektedir. Kavşaklar, farklı doğrultulardan gelen trafik akımlarının kesişim noktaları olduğundan, yol ağı genelinde görülen trafik sirkülasyon sorunlarının büyük bir kısmı da kavşak bölgelerinde yaşanmaktadır (Murat, 1996).

Literatürde, karayolu ağlarında hemzemin kavşaklar ve yol koridorlarında geometrik düzenleme önerileri ile çeşitli trafik performans parametrelerinde iyileşmelerin olduğunu gösteren birçok çalışma karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Akın vd., (2022) çalışmalarında, Samsun ilinde Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan 4 adet sinyalize dönel kavşağın kaldırılarak dört kollu sinyalize kavşak yapılmasını ve yan yolların iptal edilerek ana akım üzerinde şerit sayılarının artırılmasını önerdikleri bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında, tasarımın verimliliğinin değerlendirilmesi için Vissim simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Oluşturdukları yeni geometriyle birlikte sinyalizasyon faz planı ve devre sürelerini değiştirilmesinin ortalama kuyruk uzunluğu, en büyük kuyruk uzunluğu ve araç gecikme süreleri parametrelerinde inceleme yapılan kavşaklardan üçünün kavşak kollarının %75'inde, diğer kavşağın ise kavşak kollarının %100'ünde iyileşme sağlandığı ve trafiğin akıcı bir şekilde devam ettiği sonucuna varılmıştır. (Akın vd., 2022). Benzer şekilde Bayata ve Bayrak (2018), Erzurum ilinde kavşak olmayan bir bölgeye yarım yonca yaprağı şeklinde kavşak geometrisi önermişlerdir. Tasarım Vissim yazılımı kullanarak analiz edilmiş, seyahat süreleri ve taşıt gecikmelerinde %35, kuyruk uzunluklarında %83, egzoz emisyon oranlarında %23 oranında azalma olduğu görülmüştür.

Bu makalede de hemzemin kavşaklar için alternatif bir geometri önerisi geliştirilmiş ve Vissim ve Synchro simülasyon programları kullanılarak test edilmiştir.



Şekil 1. Karayolları kavşak tipleri (KGM, 2005)

Karayollarının kesişmesiyle oluşan kavşaklar genel olarak eşdüzey kavşaklar ve farklı düzeyli kavşaklar olarak ikiye ayrılır. İsimlerinden anlaşılacağı üzere eşdüzey kavşaklar; kavşağa bağlanan yolların aynı yüzeyde birleşmesiyle oluşan alanlardır, bu tip kavşaklara hemzemin kavşakta denir. Farklı düzeyli kavşaklar ise kavşağa bağlanan yolların birinin veya birkaçının farklı yüzeyde birleşmesiyle oluşan alanlardır, bu tip kavşaklar katlı kavşak olarak da isimlendirilirler.

Kent içi yol ağının en kritik noktaları olan kavşaklar trafiğin yoğunluğuna ve çevre şartlarına göre hemzemin ya da katlı kavşak olarak tasarlanırlar. Hemzemin kavşaklar, maliyetinin düşük olması, şehrin silüetini bozmaması ve daha erişilebilir olması nedeniyle katlı kavşaklara göre daha fazla tercih edilmektedir (Mersinlioğlu vd., 2022).

Eşdüzey ve Farklı düzeyli kavşakların imalat ve bakım maliyetleri karşılaştırıldığında arada büyük farkların olduğu açıktır. Kent içinde çoğunlukla farklı düzeyli kavşak yapılması istenir fakat ulaşılabilir bir hedef değildir. Ayrıca kent merkezlerinde büyük beton ayaklar üzerinde inşa edilen köprüler ile oluşturulan kavşaklar trafiği rahatlatırsa bile kent silüetini bozması sebebiyle istenmemektedir.

Eşdüzey Kavşaklar, Denetimsiz, Sinyalize ve Dönel kavşaklar olmak üzere üç farklı şekilde uygulanır. Kavşakların standartlara göre uygun geometride olmaları çok önemli bir konu olmasına rağmen ülkemizde uygun geometrik yapıya sahip olmayan birçok kavşak bulunmaktadır. Artan trafik talepleri sonucunda geometrik olarak da uygun olmayan kavşak noktalarında trafik kazaları da dâhil birçok sorunla karşılaşmaktadır. Büyükşehirlerde daha sıklıkla karşılaştığımız sinyalize kavşaklar işletim moduna göre Sabit Süreli, Trafik Uyarımlı ve Adaptif kavşak olarak üçe ayrılır. Kavşak noktasında yapılan taşıt ve yaya sayımlarına göre sinyal süreleri hesaplanarak sinyal programı oluşturulur ve kavşak kontrol cihazına yüklenerek kavşak devreye alınır. Bu şekilde çalışan kavşaklara sabit süreli kavşaklar denir. Bu kavşaklarda saat dilimlerine ayrılarak, her saat dilimine farklı sinyal süreleri de verilebilir fakat sabit süreli kavşaklar anlık değişen trafik taleplerinde çözüm olmamaktadır.

Trafik Uyarımlı kavşaklar kendi içerisinde Yarı Trafik Uyarımlı ve Tam Trafik Uyarımlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Yarı Trafik Uyarımlı kavşaklarda, kavşağa bağlanan yolların bir ya da bir kaçında taşıt algılayıcı sensörler bulunmaktadır. Bu sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı araç talepleri izlenerek önceden belirlenen minimum ile maksimum değerler arasında değişen yeşil sinyal süreleriyle işletilebilmektedir. Gelen araç taleplerine göre sinyal süreleri değişebildiği gibi hiç araç olmaması durumlarında yeşil süre verilmeyip faz atlaması yapılmaktadır. Tam Trafik Uyarımlı olarak çalışan kavşaklarda, kavşağa bağlanan bütün yollarda sensörler konumlandırılmıştır. Bu sensörler ile tüm akım kollarına değişken yeşil süreler verilebilmektedir.

Karayolu üzerinde taşıtlar ile yayaların kesiştiği noktalarda yapılan sinyalize yaya kavşakları Yarı Trafik Uyarımlı ve Tam Trafik Uyarımlı işletim modlarında çalıştırılabildiği gibi diğer işletim modlarında da çalıştırılabilir. Bir yaya kavşağında yaya butonları bulunması durumunda Yarı Trafik Uyarımlı, anayolda ilave olarak sensör bulunması durumunda ise Tam Trafik Uyarımlı olmaktadır.

Adaptif sinyalize kavşağın giriş ve çıkış kollarına şerit bazlı taşıt algılayıcı sensörler bulunur. Sensörlerden alınan taşıt sayımı ve işgalie verileriyle anlık süre hesaplamaları yapılarak değişken yeşil süreler üretilebilmektedir. Bu sistem ile kavşağın çıkış noktalarındaki trafik durumu da ölçülebildiği için, çıkış kollarında tıkanma oluşması durumunda ona uygun sürelerle işletilebilmektedir. Adaptif kavşaklar diğer sinyalize kavşaklara göre daha gelişmiş kavşak sistemleri olsalar da daha fazla sensör kullanılması sebebiyle daha yüksek maliyetlidir. Sinyalize kavşaklarda uygun işletim modu seçilerek, kavşakta oluşan gecikme sürelerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Sinyalize kavşaklarda aynı sürede hareket edebilen taşıt ve yaya akımlarının birlikte oluşturduğu kümelere faz denir. Tüm akımların geçişini sağlayacak şekilde fazların oluşturduğu döngüye periyot denir. Sinyalize kavşaklarda faz ve periyodun önemi büyüktür çünkü bir rota üzerinde veya lokal bir kavşakta ortalama hız, ortalama gecikme ve seyahat süresi gibi performans verilerini direkt olarak etkiler.

Dünya genelindeki sinyalize kavşak uygulamalarına bakıldığında sinyalize kavşak tasarımlarının Geleneksel tasarım ve Geleneksel olmayan tasarım olarak ikiye ayrıldığı görülmüştür. Geleneksel olmayan kavşak tasarımları, Yenilikçi kavşak tasarımları olarak da isimlendirilmektedir. Bu tasarımlar yüksek yoğunluktaki hemzemin sinyalize kavşaklara, çok yüksek maliyetli Farklı düzeyli kavşak yapılmasına gerek duyulmadan daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

Birçok farklı geleneksel olmayan kavşak tasarımı bulunmaktadır. Bu kavşak tasarımlarından bir tanesi Displaced Left Turn (DLT, Yerinden edilmiş sola dönüş) olarak isimlendirilmiştir. Bu kavşaklar literatürde Continuous Flow Intersection (CFI, Sürekli akış kesişimleri) olarak da bilinmektedir. ABD ve başka ülkelerde de uygulamaları bulunan DLT tasarımı üzerine birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. 2014 yılında ABD Ulaştırma Bakanlığı, Federal Karayolu İdaresi tarafından DLT Yerinden edilmiş sola dönüş kavşağı bilgilendirme rehberi hazırlanmıştır. (FHWA, 2014)

Bu çalışmada DLT tasarımına alternatif olarak yeni bir kavşak tasarımı yapılmıştır, bu tasarımda DLT tasarımına benzer olarak sola dönüş akımı yolun en soluna taşınarak kesişim sayısı azaltılmıştır. Kavşak noktasında sağa dönüş hareketleri bakımından DLT tasarımına göre farklılık gösteren bu yeni tasarım, DLT kavşağına göre daha küçük kavşak alanlarında uygulanabilir özelliktedir.

Bu makalede oluşturulan Alternatif DLT kavşak tasarımı geleneksel dört kollu sinyalize kavşak tasarımı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada PTV Vissim ve Synchro simülasyon programları kullanılmıştır. Farklı trafik hacimlerinde karşılaştırma yapmak amacıyla beş ayrı araç trafik hacim senaryosu oluşturulmuştur.

Bu iki kavşak modelinin performans değerlerinin karşılaştırılmasında PTV Vissim simülasyon programının, ortalama gecikme süresi, ortalama durma sayısı, ortalama hız, toplam seyahat süresi ve toplam gecikme süresi verileri kullanılmıştır. Sinyal süre optimizasyonu kısmında ise Synchro programı kullanılmıştır.

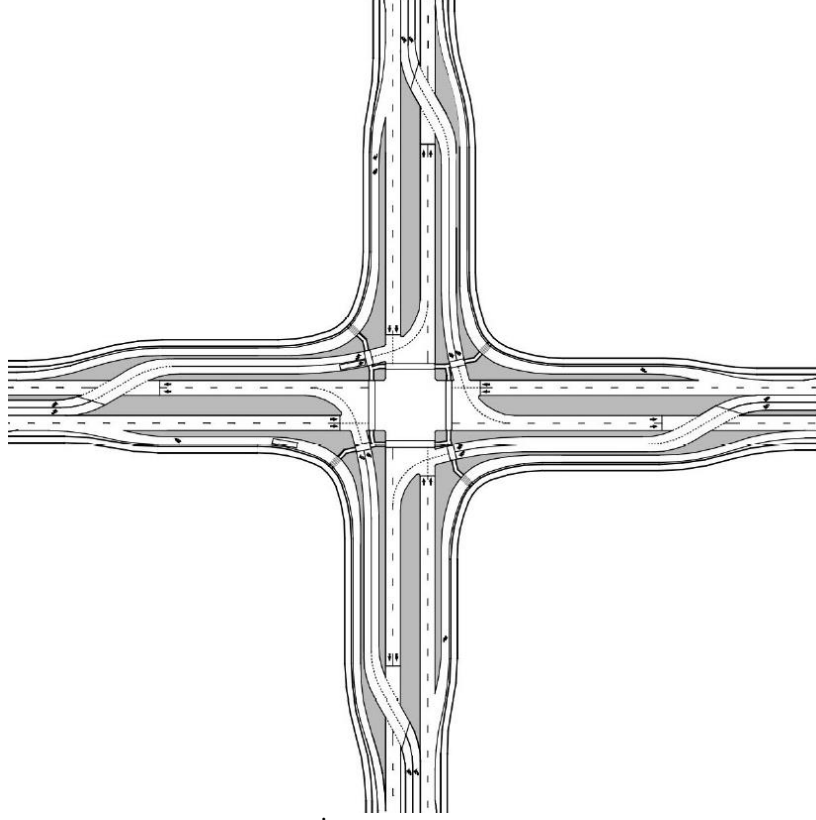
2. DLT TASARIMI

DLT kavşağın çalışma prensibi konsept olarak ana ve alt kavşaklardan oluşmaktadır. Bu tasarımda kesişimlerin azaltılması amacıyla sola dönüş talepleri alt kavşaklar ile karşı trafik akışının soluna taşınmıştır. Bu sayede karşılıklı olarak ana yollara yeşil ışık yandığında sola dönüş hareketleri de aynı zaman aralığında yapılabilmektedir. Kavşakta sağa dönüş yapacak araçlara hizmet etmesi amacıyla sağa dönüşler için yeni bir yol açılmıştır. Bu yolun sağa dönüş alanında bulunan, yerinden edilmiş sola dönüş cebi uzunluğu kadar devam etmesi ve bu yol bitiminden sonra ana yola katılması düşünülmüştür. Bu kavşak tasarımları faz planlarında sola dönüş aşamasını ortadan kaldırır. Bir DLT kavşağında trafik sinyali aşamalarının ve çakışma noktalarının sayısını (kullanıcı yollarının kesiştiği yerler) azaltılır, bu da trafik operasyonlarında ve güvenlik performansında iyileştirmelere olanak sağlayabilir. (FHWA, 2014)

Yerinden edilmiş sola dönüşlü kavşaklar (DLT), ana kavşaktaki sola dönüş hareketlerini hariç tutarak, yoğun sola dönüş trafik hacimleri nedeniyle sıkışık olan geleneksel kavşakların operasyonel performansını artırmak için tasarlanmıştır. Bu da olası çakışma noktalarının sayısını azaltmak ve kavşak kapasitesini artırmakla sonuçlanır (Abdelrahman vd., 2020). Geleneksel kavşak tasarımına kıyasla daha maliyetli bir tasarımdır ve trafik yoğunluğu yaşanmayan, doyumluk derecesinin 0,9'dan düşük olduğu durumlarda DLT kavşağın daha fazla durmaya yol açabileceği ve bu durumun sürüş konforunu azaltabileceği ve hava kirliliğini artırabileceği belirtilmelidir (Zhao vd., 2015). Türkiye de bu kavşak tasarımları henüz yaygın olmasa da dünya genelinde bilimsel çalışmalar yapılmakta ve çeşitli yerlerde uygulamaları görülmektedir.

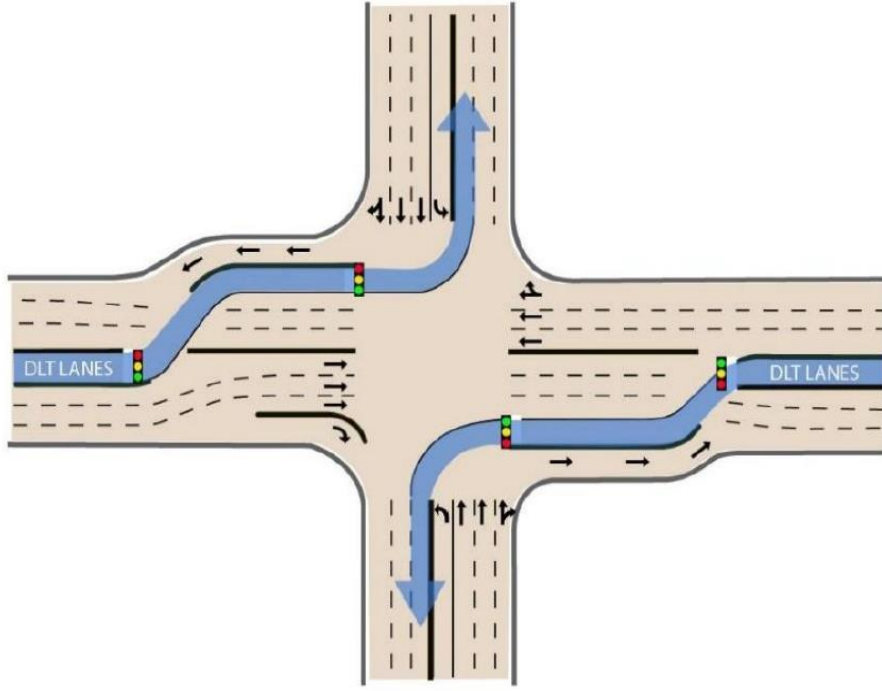
Yerinden Edilmiş Sola Dönüş kavşağı (DLT), eşdüzey kavşaklar için alternatif bir tasarımıdır. Francisco Mier tarafından ilk olarak 1987 de önerilmiştir. Mier bu tasarımıının patentini almıştır (United States patent, US5049000, 1991).

Sinyalize kavşaklarda yoğun sola dönüşler sebebiyle darboğaz oluşabilmektedir. Kavşağın DLT tasarımına dönüştürülmesiyle sola dönüş hareketiyle oluşan darboğazın, ana kavşaktan alt kavşaklara kaydığı görülmüştür (Carroll ve Lahusen, 2013).



Şekil 2. DLT ve CFI olarak isimlendirilen kavşak tasarımı (FHWA, 2014)

Bir DLT tasarımında, başlangıçta sola dönüş ve geçiş aşamalarında tahsis edilen yeşil süre, tüm trafiğe hizmet etmek için birlikte özetlenebilir, bu nedenle kavşak kapasitesini önemli ölçüde artırır. DLT tasarımının diğer geleneksel olmayan tasarımlardan daha iyi performans gösterdiği rapor edilmiştir (Reid ve Hummer, 2001; Jagannathan ve Bared, 2005; El Esawey ve Sayed, 2007; Hughes ve vd., 2010; Autey ve vd., 2013; Wu vd., 2014).



Şekil 3. DLT Tasarımında sola dönüş akımı (Wenrui Qu vd., 2020)

Geleneksel olmayan kavşak tasarımlarından biri olan DLT çeşitli analiz ve mikro simülasyon programları ile test edilmiş, mevcut geleneksel eşdüzey kavşaklara göre performans olarak daha iyi performans sergilediği sonucuna varılmıştır. (Reid ve Hummer, 2001; Jagannathan ve Bared, 2005; El Esawey ve Sayed, 2007; Hughes ve vd., 2010; Autey ve vd., 2013; Wu vd., 2014; Abdelrahman vd., 2020). Bu tasarım yenilikçi bir tasarım olması ve iyi sonuçlar vermesi sebebiyle dünya genelinde ilgi çekmektedir. Kavşağın trafik güvenliği açısından incelenmesi, yerinden edilmiş sola dönüş yolu uzunluğu, yakın mesafelerde bulunan kavşaklarda DLT uygulaması vb. konularda birçok çalışma yapılmıştır.

2.1. DLT'nin Trafik Güvenliği Açısından İncelenmesi

Tasarımı güvenlik açısından inceleyen makaleler değerlendirildiğinde daha eski tarihli makalelerde tehlikeli manevraların yaşandığı belirtilmiştir. Örneğin; Park ve Rakha, Utah ve Louisiana'daki iki DLT kavşağın video analizine dayalı olarak bu tasarımın güvenlik etkilerini analiz etmiştir. Bu tasarımın uygulamasında, kesişim sayısını %50 oranında azaltmasına rağmen, çok sayıda tehlikeli manevrayla sonuçlandığı görülmüş ve bu tehlikeli manevraların, sürücünün bu tür kavşaklara aşına olmamasından kaynaklandığını iddia etmişlerdir (Park ve Rakha, 2010).

Güvenlik yönünden inceleyen yeni tarihli makaleleri incelediğimizde trafik kazalarını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Örneğin: San Marcos Teksas'ta bulunan iki DLT kavşağın güvenlik performansını değerlendirmek üzere, 2011 den Nisan 2018'e kadar olan kilitlenme verilerini TxDOT Kilitlenme Kayıt Bilgi Sisteminden (CRIS) almıştır. Bu çarpışma verileri, istatistiksel analiz ve çarpışma diyagramına dayalı analiz olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, DLT'nin incelenen kavşaklarda genel çarpışma frekanslarını artırmadığını göstermiştir. DLT sayesinde sola ve sağa dönüşlere bağlı trafik kazalarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bunun dışında, DLT kavşaklarda trafik işaretleri, geometrik tasarım ve erişim yönetimi ile ilgili güvenlik sorunları da oluşmuştur. Bu nedenle, DLT kavşaklarının uygulanmasında, trafik mühendislerinin erişim yönetimi, trafik sinyali koordinasyonu ve sürücü kabulü dâhil olmak üzere DLT kavşak tasarımının farklı yönlerini dikkatlice düşünmesi gerekir (Qu vd., 2020).

Sürücü aşinalığının olmaması ya da az olması sonucunda, olumsuz güvenlik problemleri yaşanabilir. Bu noktada alternatif tasarımın uygulamaya uygun olup olmadığına karar vermek için maliyet ve faydaların farklı yönlerinin değerlendirilmesi gerekir. Güvenlik ve performans penceresinden birlikte bakıldığında bu tasarımın (DLT) uygulanabilir olduğu görülmüştür. Ancak DLT'lerin birçok çarpışma türü için geleneksel kavşaklara kıyasla olumsuz güvenlik etkileri olduğu, yine de operasyonel performansın daha verimli olabileceği sonucunu vermiştir (Abdelrahman vd., 2020).

2.2. Yerinden Edilmiş Sola Dönüş Yolu Uzunluğu

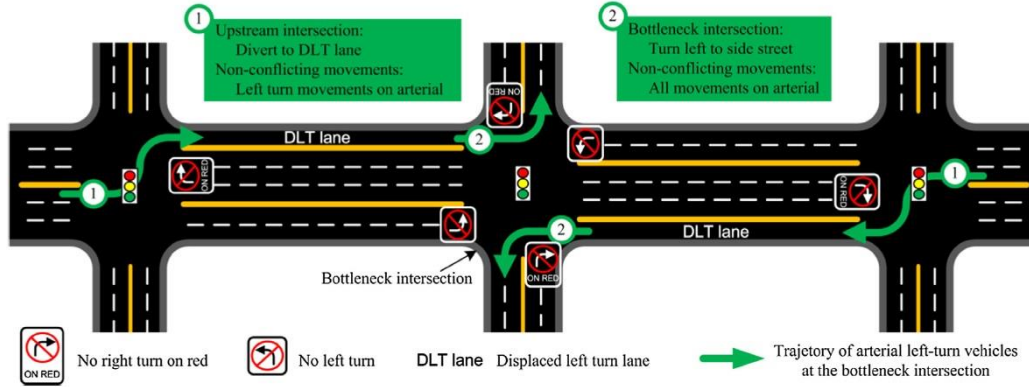
Çoğu durumda, sola dönüş şeridinin optimum uzunluğunun, maksimum 150 m seçildiği gözlemlenir. Bunun nedeni kısmen, yeri değiştirilen sola dönüş şeridinin, kuyrukta bekleyen araçları barındıracak kadar uzun olması gerektiğidir. Ancak, kaydırılan sola dönüş şeridinin daha uzun olması, izin verilen aralıkta daha fazla yeşil süre verilmesine yol açar.

Çoğu durumda ana kavşağın sinyal süre planlarına göre yeri değiştirilen sola dönüş şeridi uzunluğu daha da artırılabilir. Ancak bu durumda, yerinden edilmiş sola dönüş şeridi boyunca yer alan parsellere doğrudan erişime kısıtlamalar getirir, bu sebeple DLT geçişi genelde ana kavşağın yaklaşık 90-130 m yukarısında bulunur (Hummer ve Reid, 2000; Bared, 2009; Hughes vd., 2010; Zhao vd., 2015).

2.3. Yakın Mesafede Bulunan Kavşaklarda Geleneksel Olmayan Kavşak Tasarımı

Tipik olarak, bir CFI tasarımında alt kavşakların, ana kavşağın 90-130 m yukarısında kurulması önerilir (Bared, 2009; Hummer ve Reid, 2000), oysa bir kentsel şehirde bir arter boyunca peş peşe kavşaklar arasındaki bağlantı uzunluğu genellikle 300 m civarındadır. Dar kentsel alanlarda peş peşe kavşaklar arasındaki kısa bağlantı uzunlukları göz önüne alındığında, bir CFI inşa etmek neredeyse imkânsız hale gelmektedir.

Geleneksel olmayan kavşaklarda alt kavşak mesafesi için optimum mesafeler üzerine çeşitli çalışmalar yukarıda da bahsedildiği gibi yapılmıştır. Mevcut durumda dar kentsel alanlarda birbirlerine yakın mesafelerde kavşak olması durumunda bu mesafeler sağlanamayacaktır. Bu sebeple dar kentsel alanlar için basitleştirilmiş bir sürekli akış kesişimleri için CFI-Lite tasarımı oluşturulmuştur. Bu tasarım alt kavşakların kurulmasına ihtiyaç duymaz. Bu nedenle kavşakların yakın aralıklı olduğu kentsel arterler için idealdir. Yol çalışmaları fazla olmasa da, geleneksel kavşakların CFI-Lite kavşaklara dönüştürülmesi için gerekir.



Şekil 4. CFİ Lite kavşak tasarımı (Sun vd., 2015)

2.4. DLT'nin Avantajları ve Dezavantajlarının Özeti

DLT kavşakları, çok modlu hususlar, güvenlik performansı, operasyonlar, geometrik tasarım, mekânsal gereksinimler, inşa edilebilirlik ve bakım ile ilgili benzersiz özelliklere sahiptir.

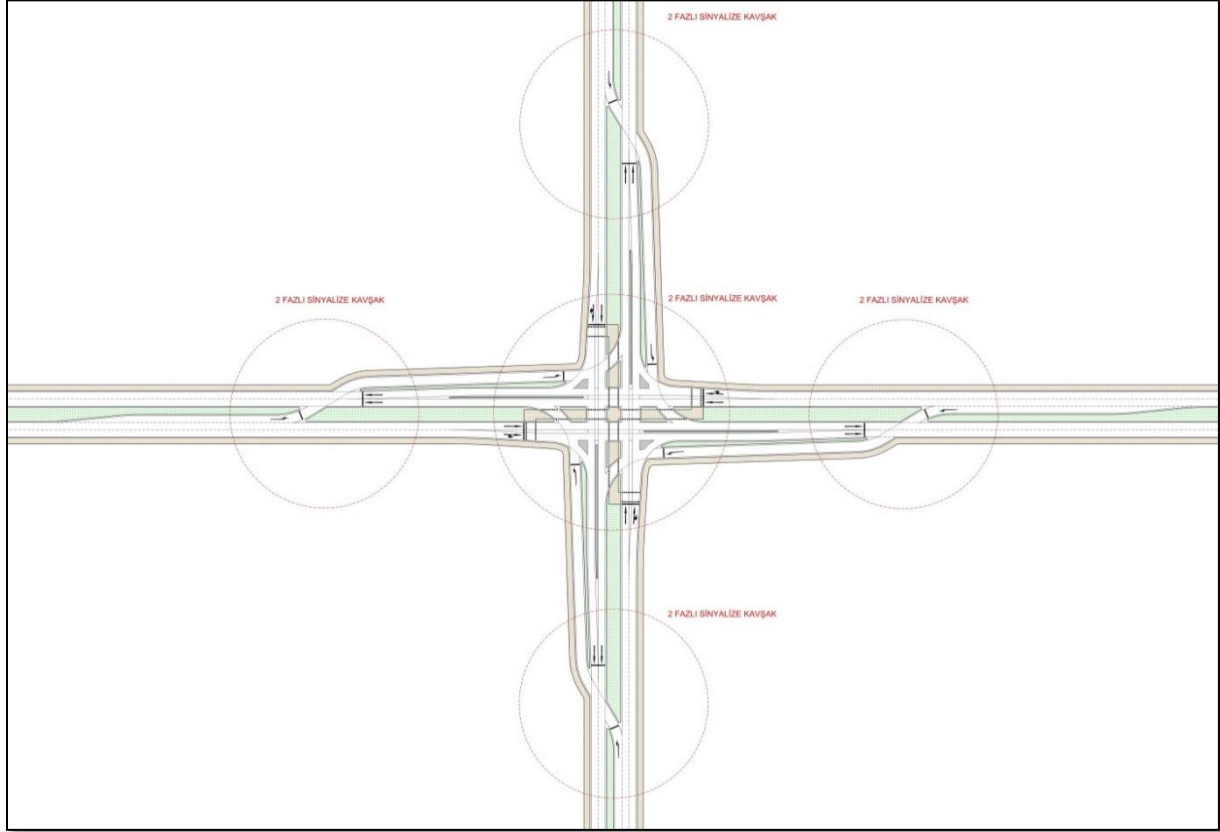
Aşağıdaki 'Yerinden Edilmiş Sola Dönüş Bilgilendirme Kılavuzu' kullanıcılar, politika yapıcılar, tasarımcılar ve planlayıcıların bu tür alternatif kavşak formunu düşünürken anlamaları için DLT kavşaklarının başlıca avantaj ve dezavantajlarına genel bir bakış sağlar.

Tablo 1. DLT Avantajları ve Dezavantajları (FHWA, 2014)

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Motorsuz Kullanıcılar	
<ul style="list-style-type: none"> * Bisikletler ve yayalar aynı seviyede ağırlanabilir. * İki aşamalı sola dönüş yaparken sığnağa sahiptir. (Bisiklet için) 	<ul style="list-style-type: none"> *2 aşamalı geçiş gerektirebilir. *Yayalar için dolaylı hareketler gerekli olabilir. *Daha uzun yaya geçitleri. *Görme engelli yayalar için zorluk oluşturur.
Emniyet	
<ul style="list-style-type: none"> *Geleneksel Kavşaklara göre daha az çatışma noktası vardır. *Ana caddelerde daha az gecikme ve daha az duraklama sonucunda arkadan çarpma oranlarını azaltabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> *Sürücüler kavşağa daha az aşına olabilir *Yanlış yöne hareket potansiyeli oluşabilir. *Flaş ve Karanlık modlarında sorun yaşanabilir.
Operasyonlar	
<ul style="list-style-type: none"> *Şerit kapasitesindeki artış nedeniyle verimli 2 fazlı veya 3 fazlı sinyal olarak çalışabilir. *Yüksek hacimli dönüş hareketleriyle uyum sağlar. *Büyük hareketler için daha fazla yeşil zaman sunar. Bir koridor çözümü olarak kullanıldığında daha iyi ilerleme sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> *Karmaşık sinyal işlemleri gerektirebilir. *Yaya geçiş süresi ve döngü uzunluğu esnekliğini sınırlayabilir. *Yoğun olmayan saatlerde ek kullanıcı gecikmesi potansiyeli oluşturabilir. *Sağa dönüş şeridinin baypas edilmediği durumda sağa dönüş sinyal kontrolü ile sağlanır.
Erişim Yönetimi	
<ul style="list-style-type: none"> *Erişimi kısıtlı koridorlarla uyumludur. 	<ul style="list-style-type: none"> *Trafik akışı bölgedeki işletmeler veya yapıların giriş/çıkışlarını etkileyebilir. *Uzun seperatörler gerekebilir.
Maliyet ve Alan Etkisi	
<ul style="list-style-type: none"> *Farklı seviyeli kavşaklara göre daha az bir değişiklik ile çözüm sağlar. *Farklı seviyeli kavşaklara göre daha düşük maliyetlidir. 	<ul style="list-style-type: none"> *Geleneksel Kavşaktan daha büyük kavşak alanı gereklidir. *Daha fazla trafik sinyali, kaldırım, bordür ve refüj adaları gerektirir.

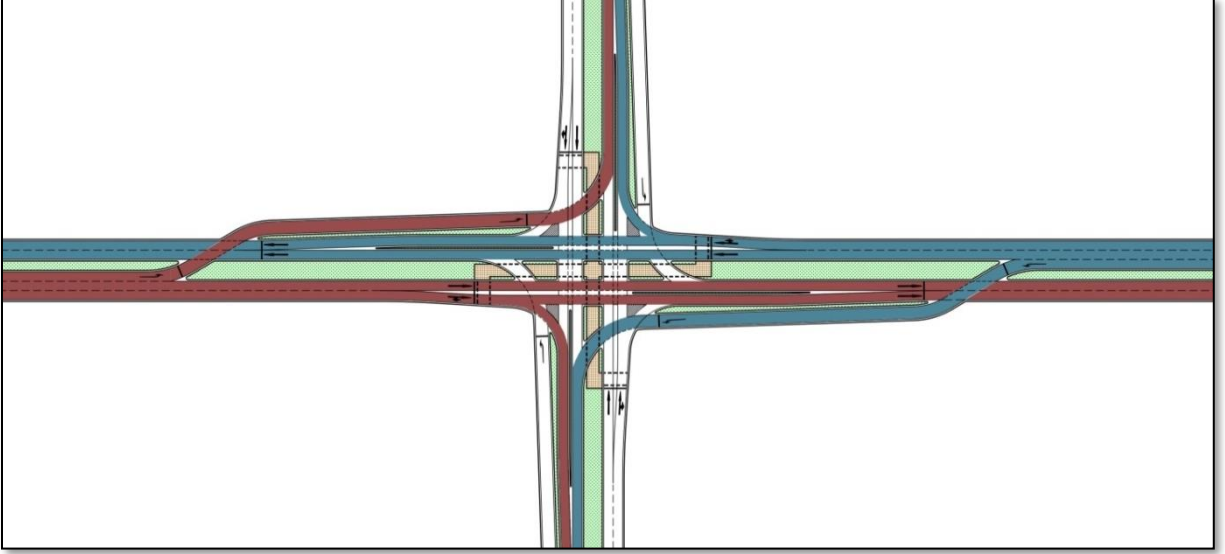
3. ALTERNATİF DLT TASARIMI

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu hemzemin kavşaklarda daha iyi sonuçlara ulaşmak, kesişimlerin azaltılması ile mümkündür. Farklı düzeyli kavşakların yapılması kesişim sayısını azaltsa da yapım maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle ekonomik bir seçenek değildir. Bu noktada çözüm olarak farklı düzeyli kavşaklara göre daha düşük maliyetli ve eşdüzey bir kavşak olmasına rağmen kesişim sayıları azaltılmış alternatif DLT tasarımı oluşturulmuştur.



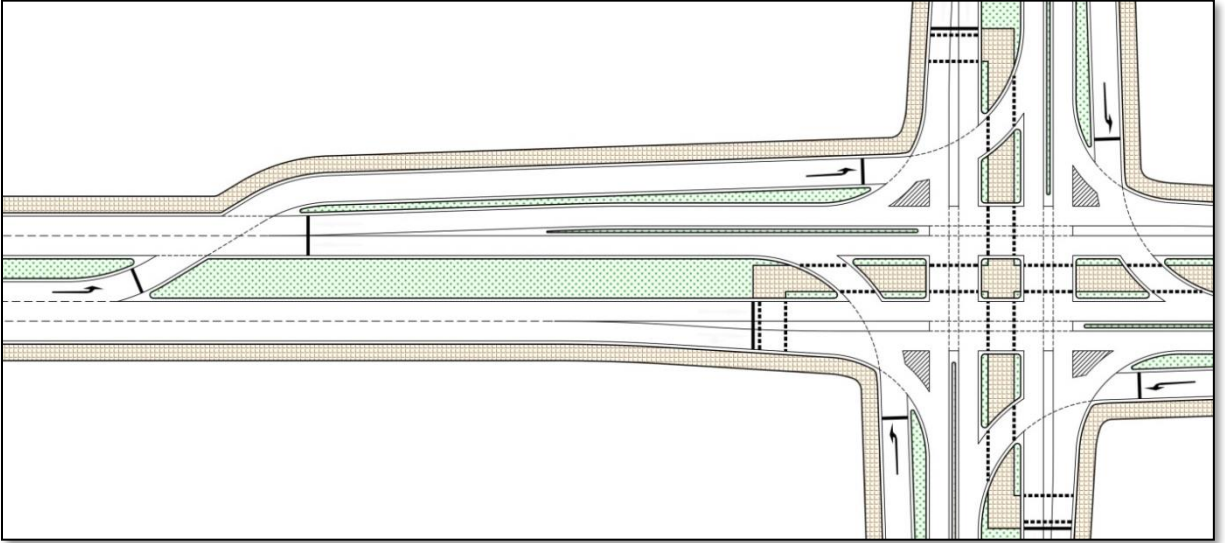
Şekil 5. Alternatif DLT Tasarımı

Şekilde 10'da Alternatif DLT tasarımı görülmektedir. Bu tasarımda yaklaşım kollarının yaklaşık 90-130 metre öncesinde alt sinyalizasyon kavşakları oluşturulmuştur. Bu alt kavşaklar sayesinde ana kavşakta sola dönüş hareketleri alt kavşak ile ana kavşak arasındaki yolun en sol kısmına taşınmıştır. Bu sayede ana kavşak mevcut durumda 4 fazlı işletilirken bu tasarım ile 2 faza kadar düşürülebilmektedir.



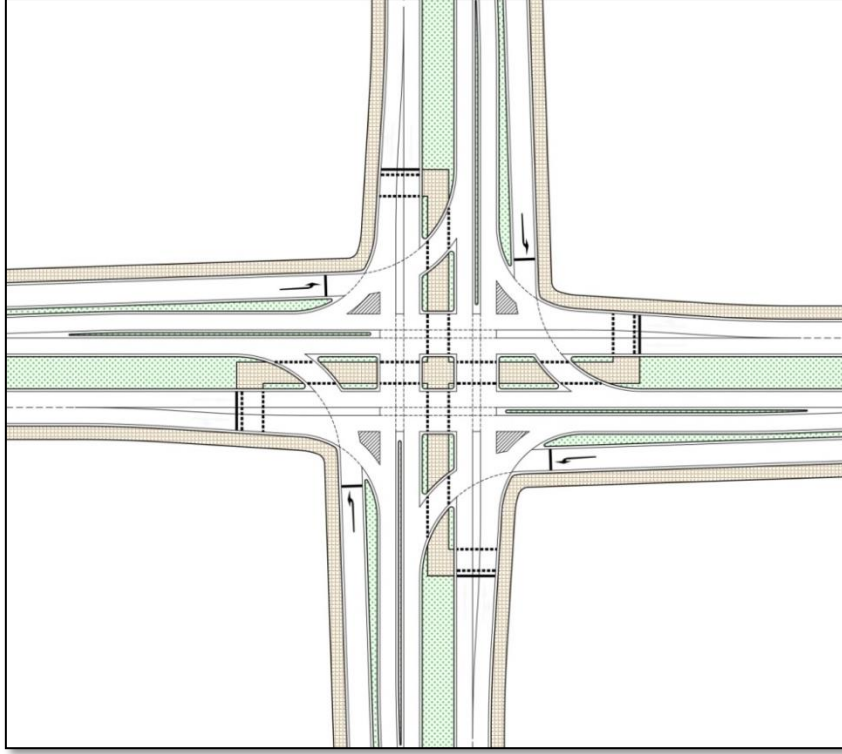
Şekil 6. Alternatif DLT Tasarımı Trafik Akımları

Şekilde mavi şeritler doğu yönünden gelen trafik akımlarını, kırmızı renkli şeritler ise batı yönünden gelen trafik akımlarını göstermektedir. Ana kavşaktaki sola dönüş hareketleri şekildeki gibi alt kavşaklar aracılığı ile yapılmaktadır. Burada görüldüğü üzere ana kavşakta doğu ve batı kollarındaki bütün araç hareketleri aynı süre zarfında yapılabilmektedir. Ana kavşak sinyal sistemi iki fazlıdır birinci fazda doğu - batı kolları ikinci fazda kuzey - güney kolları işletilmektedir.



Şekil 7. Alternatif DLT Tasarımı Ara Refüj

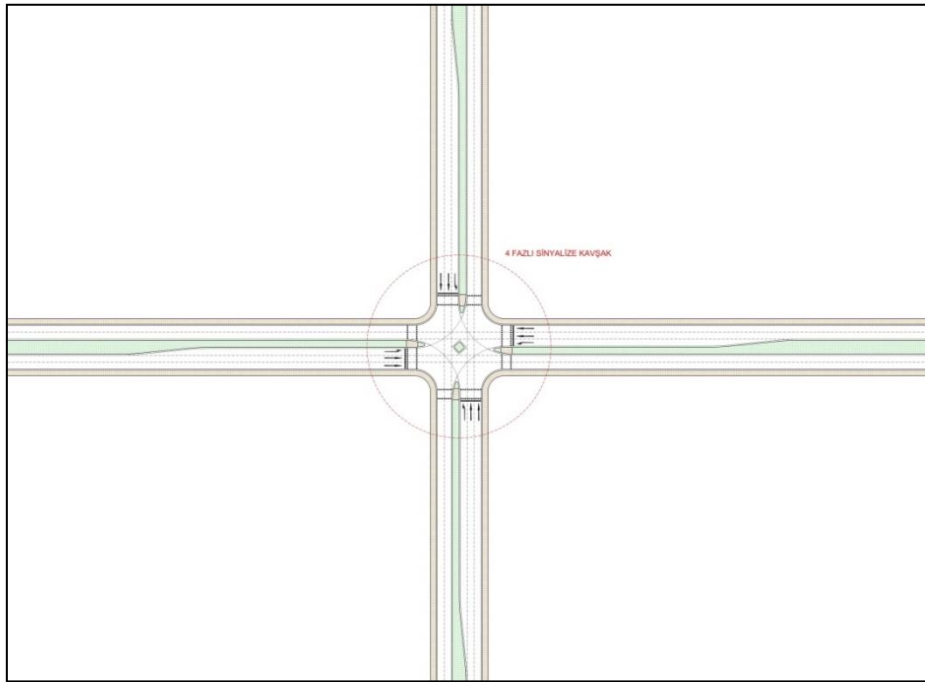
Bu tasarımı DLT tasarımından ayıran en önemli fark kavşakta sağa dönüşler için yeni bir yol açılmamasıdır. Kavşağın kuzey kolundan gelip sağa dönüş yapacak olan araçlar ile güney kolundan gelip sola dönüş yapacak olan araçlar batı koluna yönlendirilmiştir. Araçların aynı yola yönlendirilmesiyle kavşak alanı daha verimli kullanılmıştır. Aynı yola yönlendirilen taşıtların güvenliğini sağlamak amacıyla katıldıkları yolda ara refüj oluşturulmuştur.



Şekil 8. Alternatif DLT Tasarımı Yaya Geçitleri

Bu tasarımda yaya hareketleri ana kavşağın merkezinden gerçekleşmektedir. Bütün kollardan geçiş yapacak olan yayalar ana kavşağın merkezine gelerek oradan istediği yöne dağılmaktadır. Yaya yürüme mesafeleri geleneksel kavşak tasarımına göre daha uzun olmasına rağmen kavşağın 2 fazlı olması sebebiyle geçişler daha kısa süre içerisinde tamamlanabilir.

Alternatif DLT tasarımında yakın mesafe aralıklarında sinyalizasyon kavşakları oluşturulduğundan bu kavşakların koordineli bir şekilde çalıştırılması önemli bir husustur. Alt kavşakların koordineli değil de lokal kavşak mantığıyla çalıştırılması durumunda trafik sıkışıklığı yaşanabilir.



Şekil 9. Mevcut dört kollu sinyalizasyon kavşak tasarımı

Dört kollu geleneksel sinyalize kavşaklarda sinyal işletme planı olarak her kol ayrı fazlarda işletilebileceği gibi, kavşak geometrisinde sola dönüş ceplerinin bulunması durumunda karşılıklı ana yollar birlikte ve karşılıklı sola dönüşler birlikte çalışarak da işletilebilmektedir. Her iki durumda da faz sayısı değişmez. Hangi çalışma şeklinin uygun olacağı, kavşağı kullanan araç sayısı ve rotaları ile doğrudan ilişkilidir. Fakat kavşaklarda genellikle düz geçişlerin daha çok olması sebebiyle ana yolların birlikte çalıştırıldığı durumlarda daha verimli sonuçlar elde edilmektedir. Bu sayede aynı zaman aralığında daha çok araç kavşaktan ayrıldığı için bekleme süreleri azalmaktadır.

Dört veya daha çok fazlı sinyalize kavşaklarda birim zamanda geçen araç sayısının artması gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu tez çalışmasında oluşturulan Alternatif DLT tasarımı ile kesişim ve faz sayıları azaltıldığı için kavşaklardaki gecikme sürelerinin azaltılması hedeflenmiştir.

4. ALTERNATİF DLT KAVŞAĞININ DENEYSEL ANALİZLERİ

Bu bölümde Alternatif DLT kavşak tasarımı ile dört kollu geleneksel bir kavşak tasarımının karşılaştırılmasında PTV Vissim ve Synchrono simülasyon programları kullanılmıştır.

Bu çalışmada farklı trafik hacimlerinde karşılaştırma yapmak amacıyla beş ayrı araç trafik hacim senaryosu oluşturulmuştur.

1. Senaryo: Dengeli akım
2. Senaryo: Dengeli yoğun akım
3. Senaryo: Karşılıklı kavşak kollarında yoğun sola dönüş
4. Senaryo: Ardışık kavşak kollarında yoğun sola dönüş
5. Senaryo: Rasgele akım tüm kavşak kollarında yoğun sola dönüş

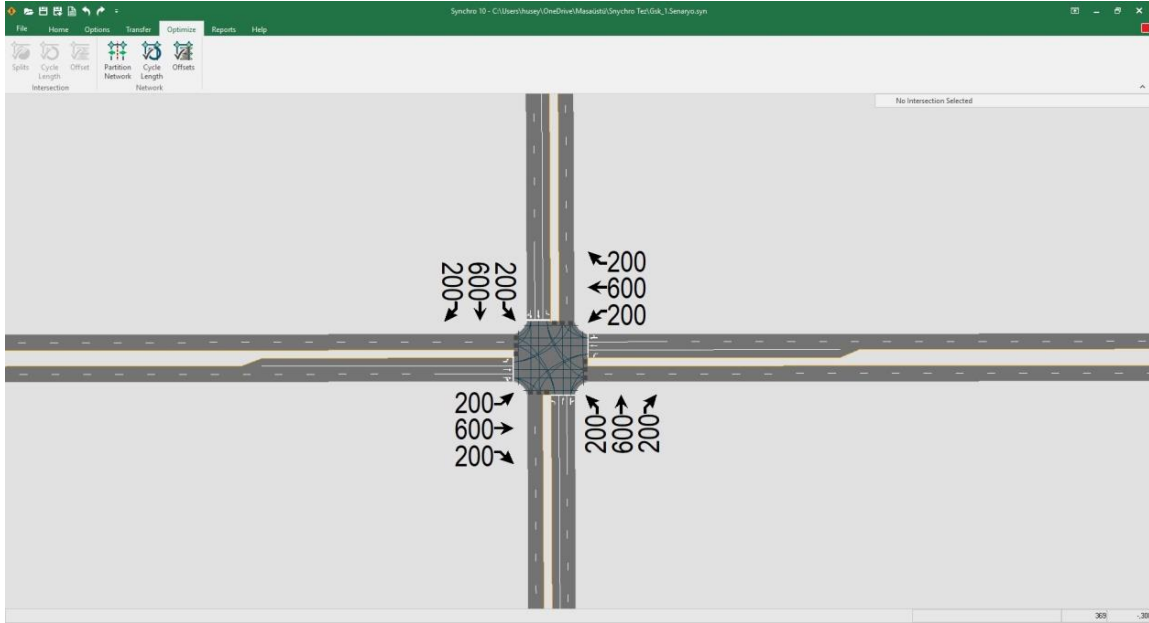
Her bir senaryo için kavşaklardaki düz geçiş, sağa ve sola dönüş hareketleri yapan araç sayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bütün senaryolarda %20 ağır taşıt girdisi yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda düz ve eğimsiz yollar baz alınarak simülasyon yapılmıştır.

Kavşak geometrisi değişikliğinin olumlu ve olumsuz yönlerini ortaya koymak amacıyla PTV Vissim programı kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Her iki kavşakta hız, türel dağılım, araç sayısı, rotalara göre araç dağılımı, ağır taşıt faktörü ve sürücü davranışları sabit tutulmuştur.

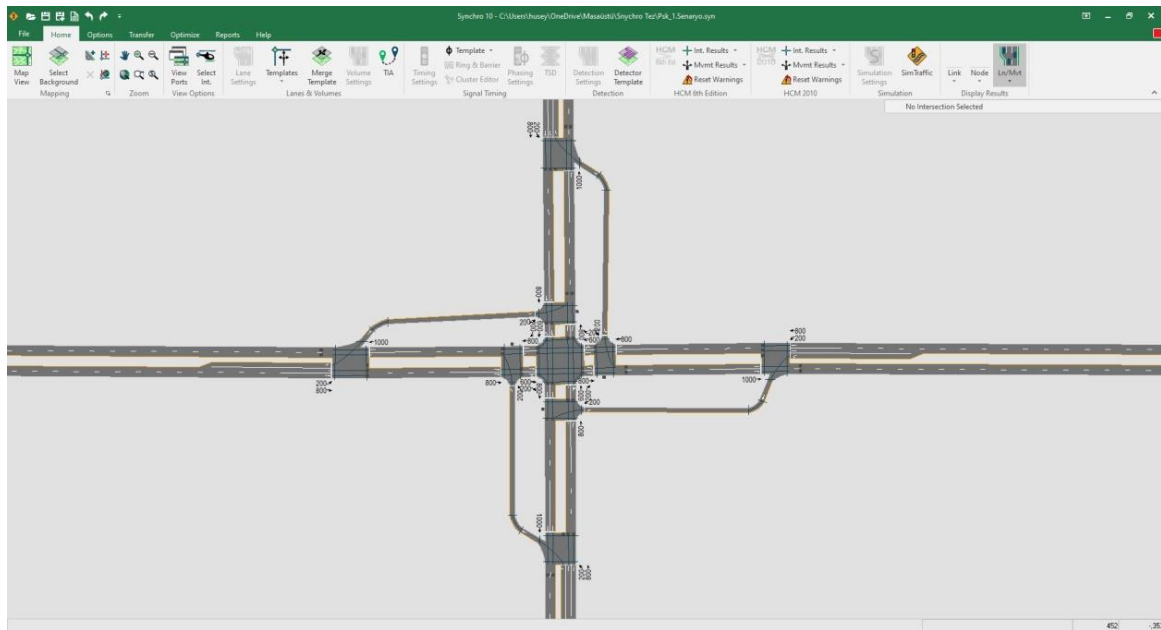
Tablo 2. Trafik hacim senaryoları

Trafik Hacim Senaryoları		Kavşak Kolları												Toplam Taşıt Hacmi (taşıt/saat)
		1. Kol			2. Kol			3. Kol			4. Kol			
		Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	Düz Gidiş (taşıt/saat)	Sağa Dönüş (taşıt/saat)	Sola Dönüş (taşıt/saat)	
1. Senaryo	Dengeli Akım	600	200	200	600	200	200	600	200	200	600	200	200	4000
2. Senaryo	Dengeli Yoğun Akım	900	300	300	900	300	300	900	300	300	900	300	300	6000
3. Senaryo	Karşılıklı Kavşak Kollarında Yoğun Sola Dönüş	800	200	600	600	200	200	800	200	600	900	300	300	5700
4. Senaryo	Ardışık Kavşak Kollarında Yoğun Sola Dönüş	800	200	600	800	200	600	900	300	300	600	200	200	5700
5. Senaryo	Rasgele Akım Tüm Kavşak Kollarında Yoğun Sola Dönüş	900	200	400	800	250	500	700	150	400	600	200	400	5500

Synchro simülasyon programı kullanılarak Geleneksel sinyalize kavşak tasarımı ve Alternatif DLT tasarımları modellenmiştir.

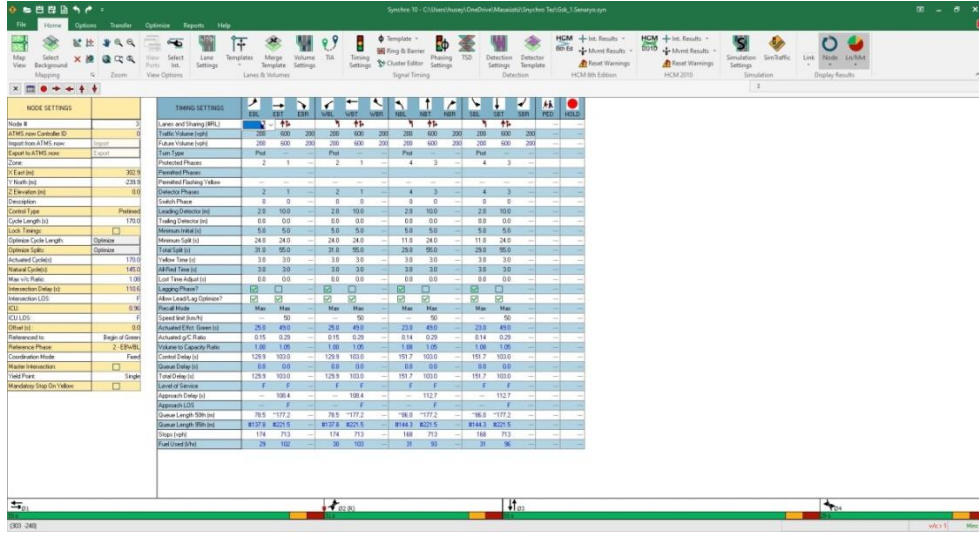


Şekil 10. Geleneksel sinyalize kavşak Synchro modeli (1. senaryo araç hacimleri)

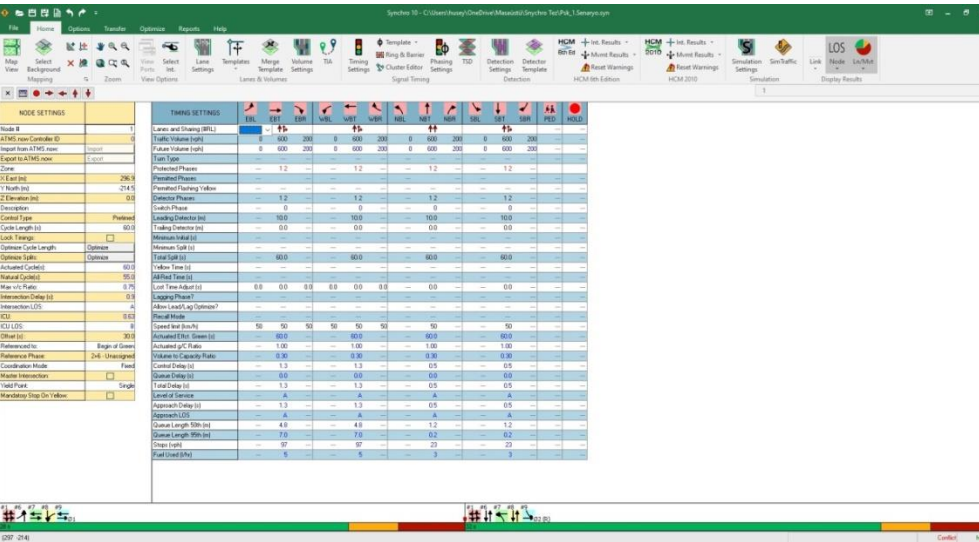


Şekil 11. Alternatif DLT sinyalize kavşak Synchro modeli (1. senaryo araç hacimleri)

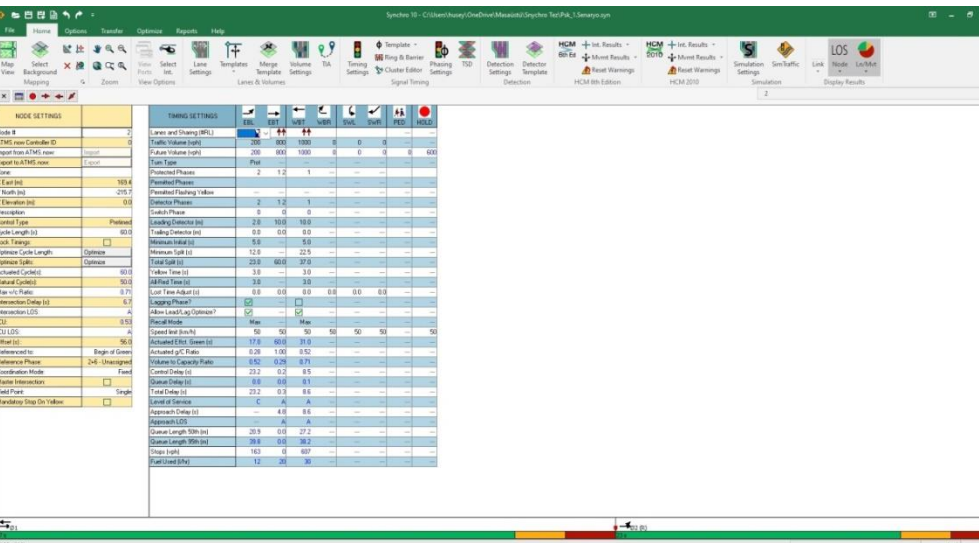
Her bir senaryo için araç girdileri yapılmış, optimize edilerek sinyal süreleri hesaplanmıştır.



Şekil 12. Geleneksel kavşak sinyal süreleri



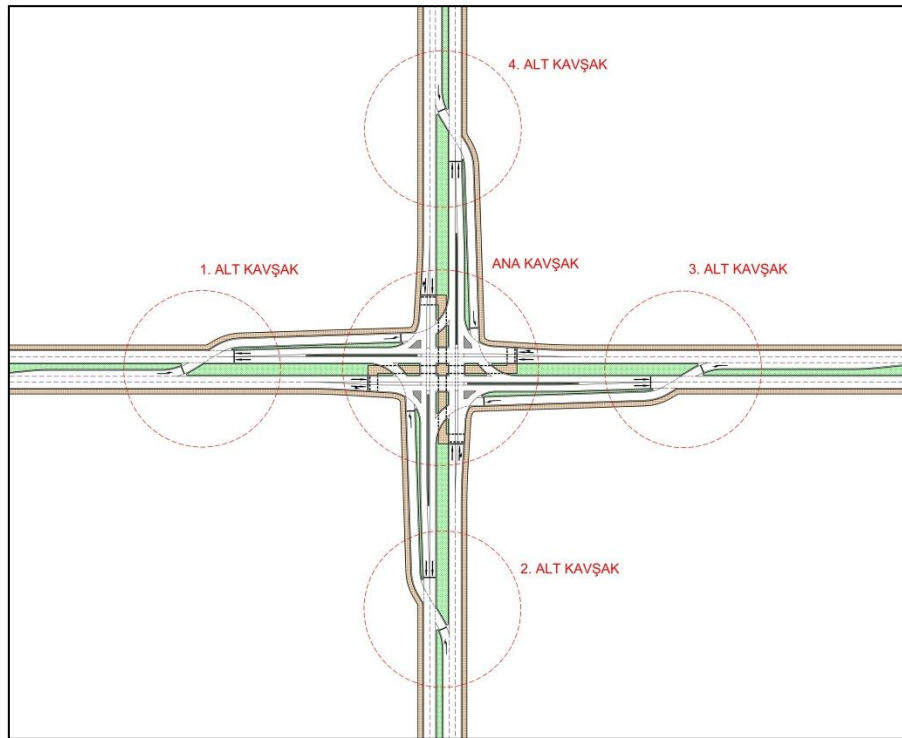
Şekil 13. Alternatif DLT ana kavşağı sinyal süreleri



Şekil 14. Alternatif DLT alt kavşakları sinyal süreleri

Tablo 3. Geleneksel sinyalizasyon kavşağın synchro programı ile hesaplanan sinyal süreleri

GELENEKSEL SİNYALİZE KAVŞAĞIN SYNCHRO PROGRAMI İLE HESAPLANAN SİNYAL SÜRELERİ													
	1. FAZ			2. FAZ			3. FAZ			4. FAZ			Devre Süresi
	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	
	1. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	49	3	3	25	3	3	49	3	3	23	3	
2. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	72	3	3	39	3	3	72	3	3	33	3	3	240
3. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	53	3	3	63	3	3	62	3	3	28	3	3	230
4. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	58	3	3	58	3	3	50	3	3	50	3	3	240
5. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	61	3	3	47	3	3	59	3	3	49	3	3	240

**Şekil 15.** Alternatif DLT ana ve alt kavşakları gösterimi

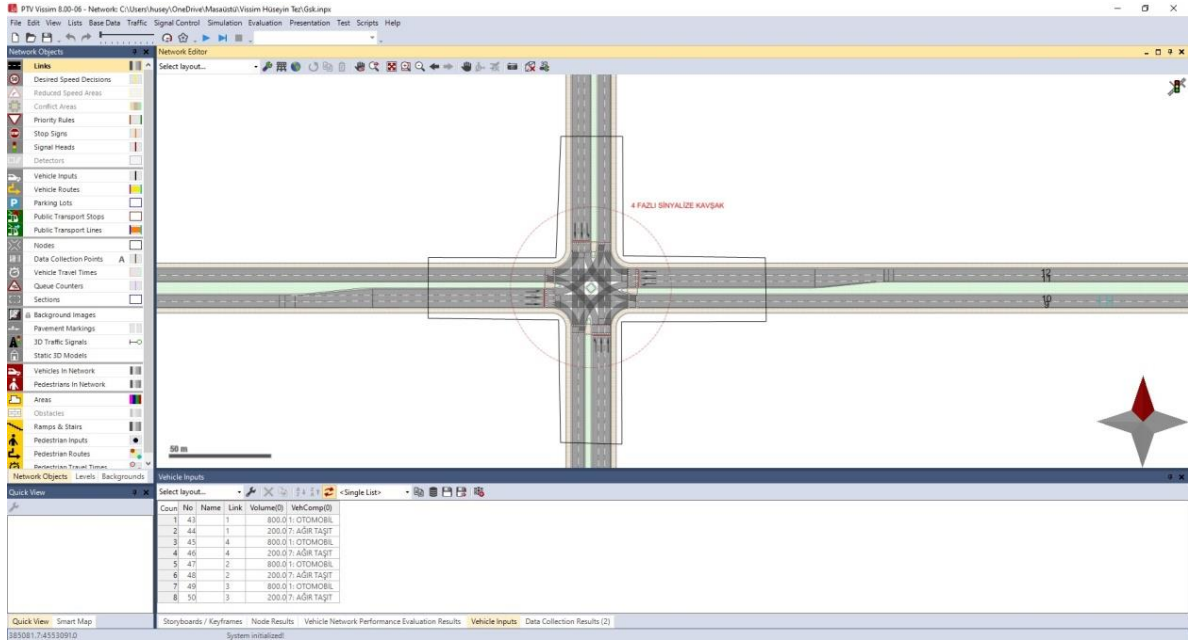
Tablo 4. Alternatif DLT sinyalize ana kavşağın synchro programı ile hesaplanan sinyal süreleri

ALTERNATİF DLT SİNYALİZE ANA KAVŞAĞIN SYNCHRO PROGRAMI İLE HESAPLANAN SİNYAL SÜRELERİ							
	1. FAZ			2. FAZ			Devre Süresi
	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	
1. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	21	3	4	25	3	4	60
2. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	35	3	4	41	3	4	90
3. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	37	3	4	39	3	4	90
4. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	39	3	4	37	3	4	90
5. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	36	3	4	40	3	4	90

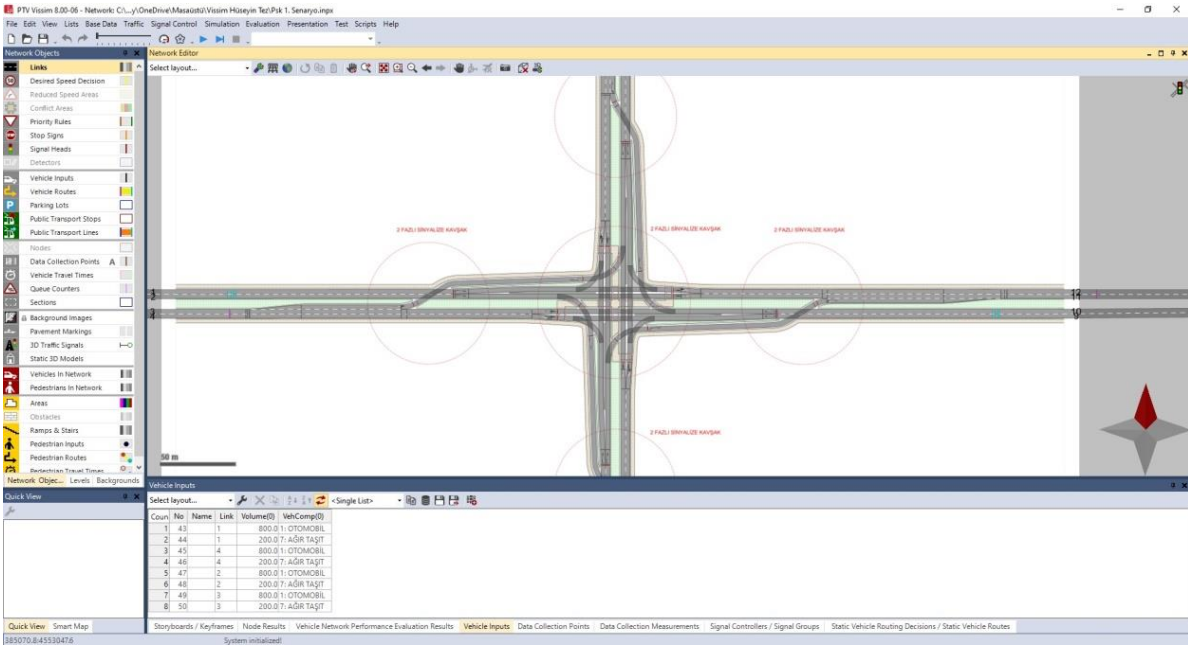
Tablo 5. Alternatif DLT sinyalize alt kavşakların synchro programı ile hesaplanan sinyal süreleri

ALTERNATİF DLT SİNYALİZE ALT KAVŞAKLARIN SYNCHRO PROGRAMI İLE HESAPLANAN SİNYAL SÜRELERİ																									
	1. FAZ		2. FAZ		1. FAZ		2. FAZ		2. FAZ		1. FAZ		1. FAZ		2. FAZ		Devre Süresi								
	1. ALT KAVŞAK						2. ALT KAVŞAK						3. ALT KAVŞAK						4. ALT KAVŞAK						
	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre		Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi	Yeşil Süre	Sarı Süresi	Kırmızı Koruma Süresi			
1. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	31	3	3	17	3	3	31	3	3	17	3	3	31	3	3	17	3	3	31	3	3	17	3	3	60
2. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	54	3	3	24	3	3	54	3	3	24	3	3	54	3	3	24	3	3	54	3	3	24	3	3	90
3. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	40	3	3	38	3	3	60	3	3	18	3	3	40	3	3	38	3	3	52	3	3	26	3	3	90
4. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	46	3	3	32	3	3	37.2	3	3	40.8	3	3	49	3	3	29	3	3	60	3	3	18	3	3	90
5. Senaryo Sinyal Süreleri (saniye)	48	3	3	30	3	3	42	3	3	36	3	3	51	3	3	27	3	3	47	3	3	31	3	3	90

PTV Vissim simülasyon programı kullanılarak Geleneksel sinyalize kavşak tasarımı ve Alternatif DLT tasarımı modellenmiştir.

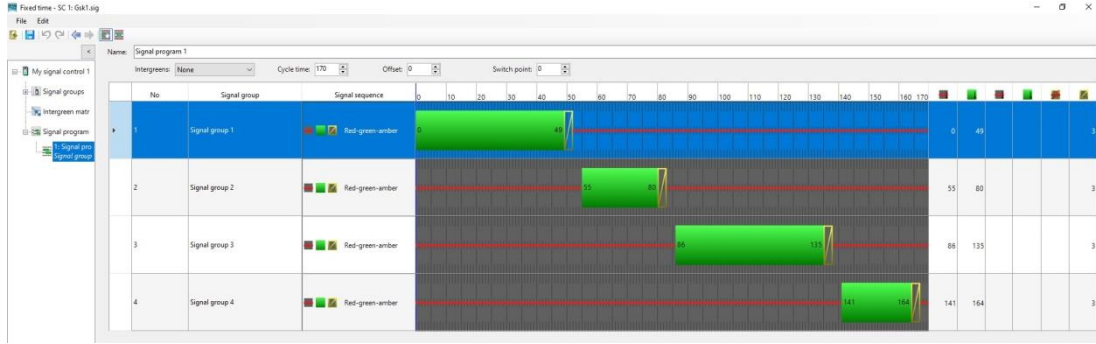


Şekil 16. Geleneksel sinyalize kavşak PTV Vissim modeli (1. senaryo araç hacimleri)

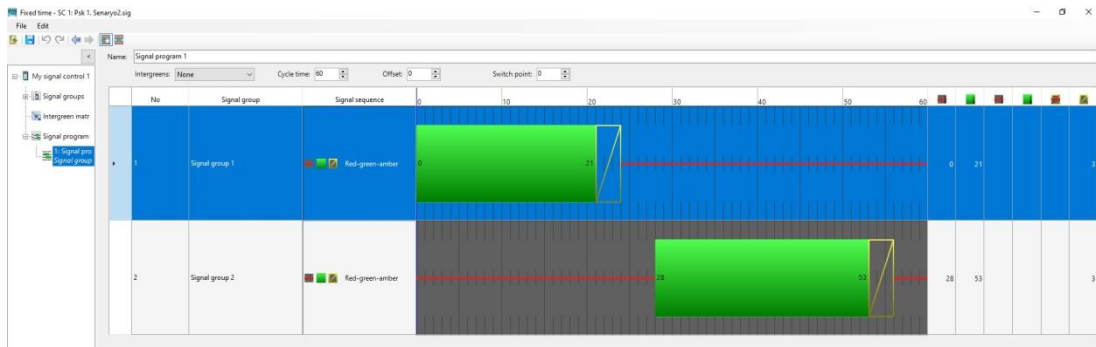


Şekil 17. Alternatif DLT sinyalize kavşak PTV Vissim modeli (1. senaryo araç hacimleri)

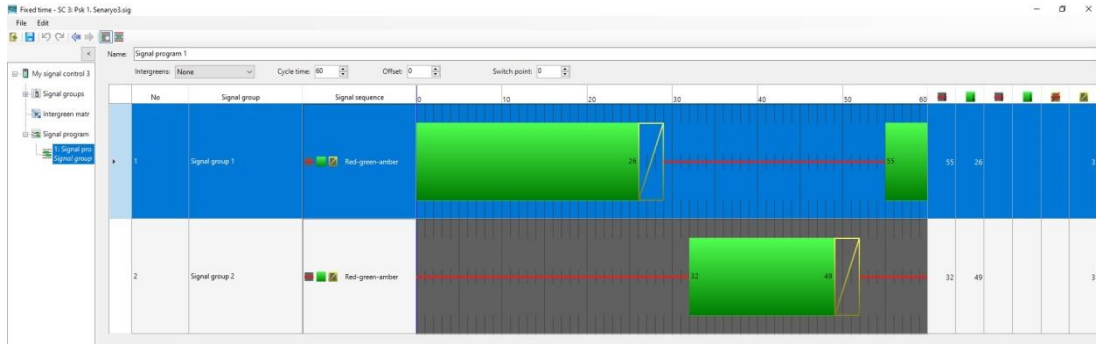
Synchro programı kullanılarak hesaplanan sinyal süreleri PTV Vissim programına girilmiştir.



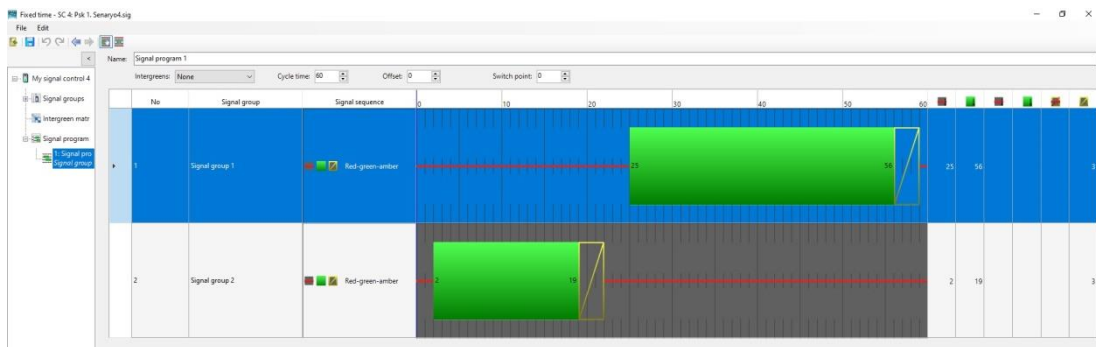
Şekil 18. Geleneksel kavşak sinyal süreleri PTV Vissim girdisi



Şekil 19. Alternatif DLT ana kavşağı sinyal süreleri PTV Vissim girdisi



Şekil 20. Alternatif DLT doğu batı alt kavşakları sinyal süreleri PTV Vissim girdisi



Şekil 21. Alternatif DLT kuzey güney alt kavşakları sinyal süreleri PTV Vissim girdisi

Alternatif DLT tasarımında ana kavşak ve alt kavşaklar koordine olarak çalıştırıldığından dolayı tüm kavşakların periyot süreleri aynıdır. Alt kavşaklarda düz geçişin yeşil süresi genelde ana kavşağın o yöndeki kolunun yeşil süresinden fazla olmaktadır. Burada fazla sürenin verimli kullanılması için alt kavşaklardaki düz geçiş, ana

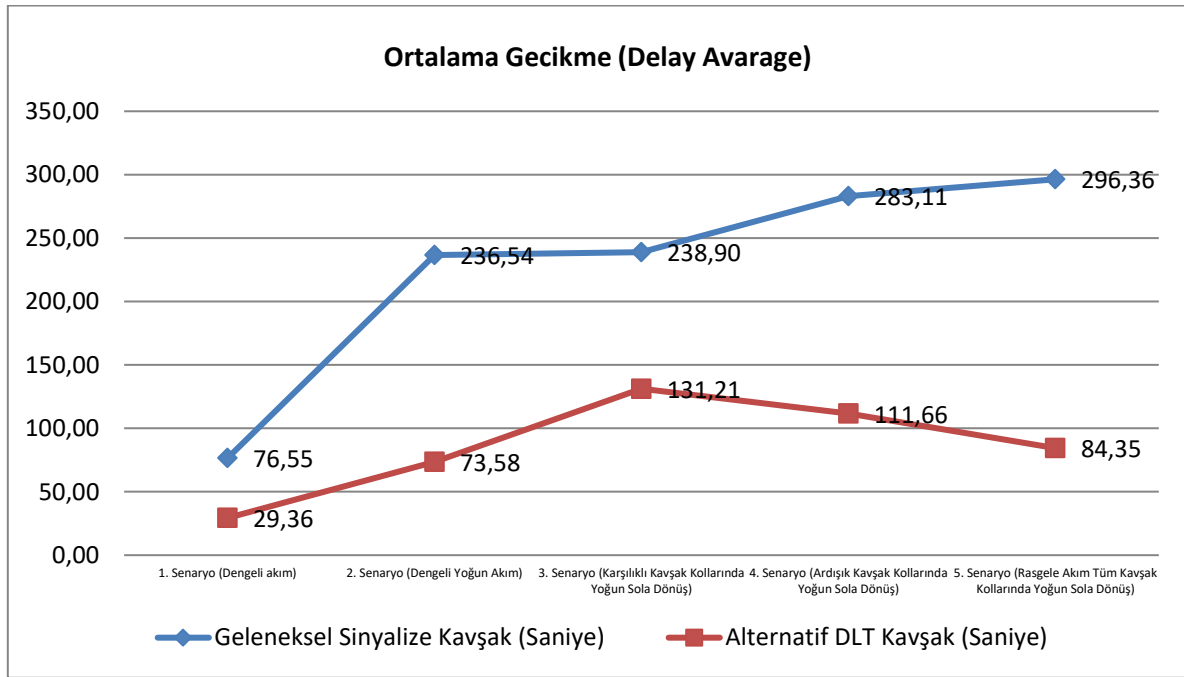
kavşağın alt kavşak ile aynı yöndeki kolundan daha önce yeşil yanar ve ana kavşağın alt kavşak ile aynı yöndeki kolu kırmızıya döndükten sonra bir süre daha yeşil yanmaya devam eder.

Oluşturulan 5 senaryo için bu çalışmalar tekrarlanmıştır. Bu iki kavşağın performans olarak değerlendirilebilmesi için PTV Vissim programının; Ortalama gecikme, Ortalama durma sayısı, Ortalama hız, Toplam seyahat süresi ve Toplam gecikme süresi parametreleri dikkate alınmıştır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

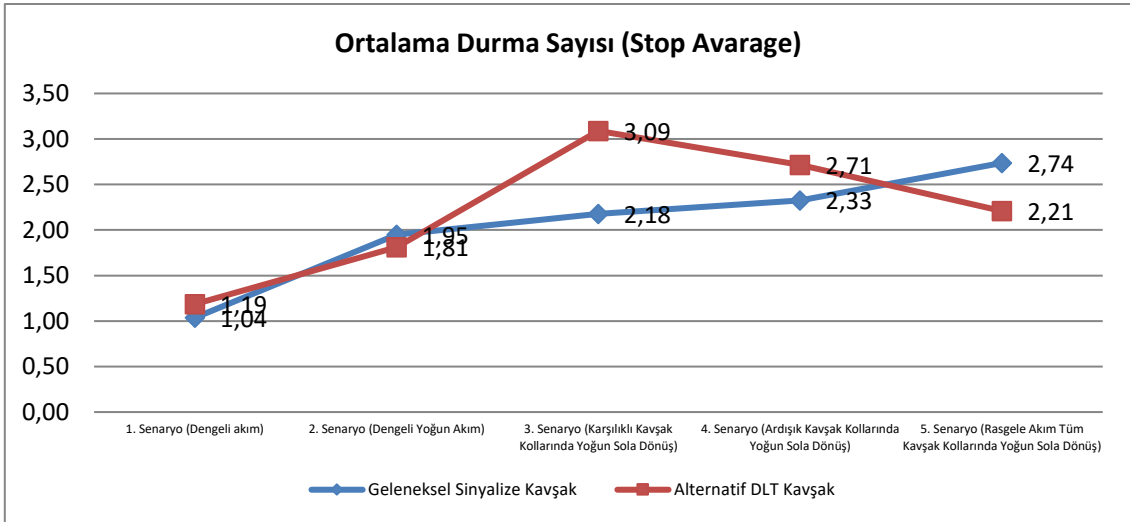
PTV Vissim Sonuçları;

Tablo 6. PTV Vissim Performans Değerleri

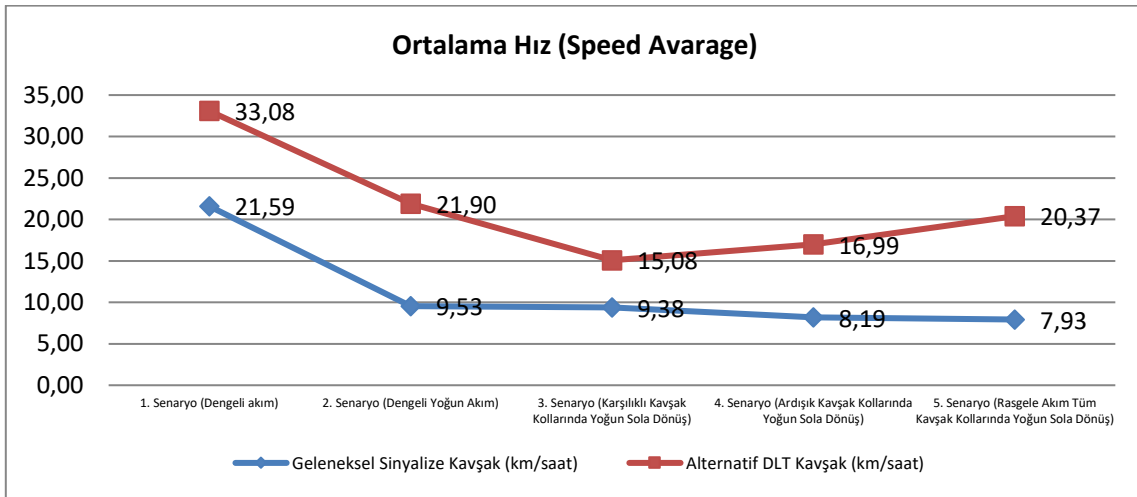
Performans Değerlendirme Parametreleri	1. Senaryo		2. Senaryo		3. Senaryo		4. Senaryo		5. Senaryo	
	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT	Geleneksel Sinyalize Kavşak	Alternatif DLT
Ortalama Gecikme (Delay Avarage)	76.55	29.36	236.54	73.58	238.90	131.21	283.11	111.66	296.36	84.35
Ortalama Durma Sayısı (Stop Avarage)	1.04	1.19	1.95	1.81	2.18	3.09	2.33	2.71	2.74	2.21
Ortalama Hız (Speed Avarage)	21.59	33.08	9.53	21.90	9.38	15.08	8.19	16.99	7.93	20.37
Toplam Seyahat Süresi (Travel Time Total)	151.69	98.01	357.41	221.14	343.21	270.76	356.81	234.09	368.08	220.51
Toplam Gecikme Süresi (Delay Total)	84.92	32.00	287.07	122.36	276.73	187.09	295.93	152.42	307.48	128.70



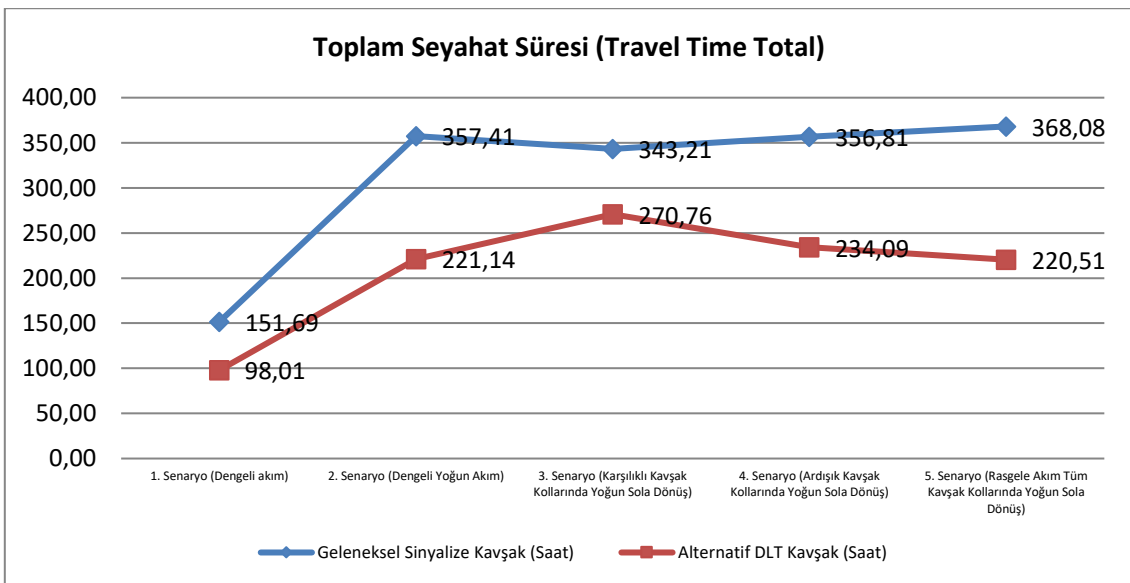
Şekil 22. Ortalama gecikme süresi grafiği



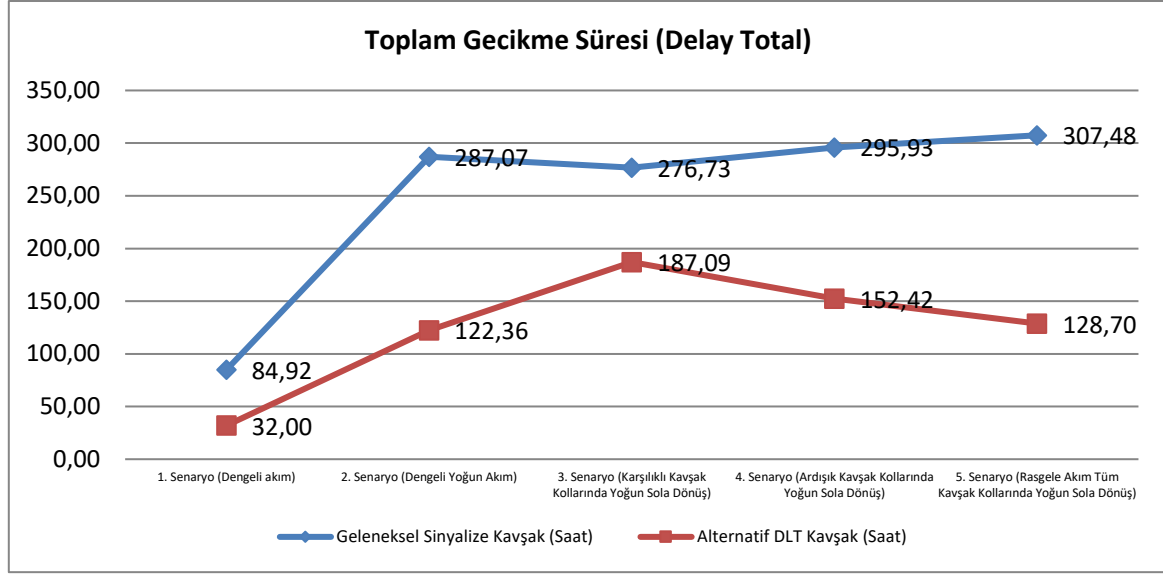
Şekil 23. Ortalama durma sayısı grafiği



Şekil 24. Ortalama hız grafiği



Şekil 25. Toplam seyahat süresi grafiği



Şekil 26. Toplam gecikme süresi grafiği

5. SONUÇLAR

Alternatif DLT sinyalize kavşak tasarımı performans açısından beş farklı araç hacim senaryosuna göre mikro simülasyon programı ile değerlendirildiğinde geleneksel kavşak tasarımlarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre beş senaryo için; ortalama gecikme süresinde %61.54, ortalama hızda %101.70, toplam seyahat süresinde %33.82, toplam gecikme süresinde %51.74 iyileşme olduğu görülürken Ortalama durma sayısında ise %9.29'luk bir artış görülmektedir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde Alternatif DLT sinyalize kavşak tasarımı karşılaştırılan beş parametreden dördünde geleneksel sinyalize kavşak tasarımına göre oldukça iyi bir iyileştirme sağlamıştır. Ortalama durma sayısında ise %9.29'luk artış bu parametre için olumsuz durumu gösterse de bu durum Alternatif DLT kavşak tasarımında daha çok sinyal noktası olmasıyla açıklanabilir.

Ana kavşaktaki sola dönüş akımının yolun en soluna taşınması uygulaması kavşağın bir kolunda yapılabildiği gibi, kavşağın 4 kolunda da yapılabilir. Ayrıca bu tasarım sadece 4 kollu kavşaklar için değil 3 kollu kavşaklar için de uyarlanabilir bir tasarımdır.

Alternatif DLT kavşak tasarımının, DLT tasarımına göre daha küçük alanlarda uygulanabilir olması dar kentsel alanlar için tercih sebebi olabilir. Alternatif DLT tasarımının kesişim sayılarını azaltması ve trafik akımlarını kanallandırmaya sonucunda trafik güvenliği yönünden daha avantajlı olması beklenir. Fakat yeni bir uygulama olacağından sürücü aşinalığı bulunmaması sonucunda kavşakta kafa karışıklığına sebep olabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelrahman, A., Abdel-Aty, M., Lee, J., Yue, L., Al-Omari, M.M.A., 2020. Evaluation of Displaced Left-Turn Intersections. *Transportation Engineering* 1 (2020) 100006
- Autey, J., Sayed, T., El Esawey, M., 2013. Operational Performance Comparison of Four Unconventional Intersection Designs Using Micro-Simulation. *Journal of Advanced Transportation*, 47 (5), 536–552.
- Bared, J., 2009. Displaced Left-Turn Intersection. Publication FHWA-HRT-09-055. FHWA, US Department of Transportation.
- Carroll, D.H., ve Lahusen, D., 2013. Operational Effects of Continuous Flow Intersection Geometrics: A deterministic Model. *Transportation Research Record*, 2348(1), 1-11.
- El Esawey, M., Sayed, T., 2007. Comparison of Two Unconventional Intersection Schemes: Crossover Displaced Left-Turn and Upstream Signalized Crossover Intersections. *Transportation Research Record*, 2023(2023), 10–19.
- Federal Highway Administration, 2004. Signalized Intersections: Informational Guide. US Department of Transportation. Report No FHWA-HRT-04-091, US Department of Transportation.
- Federal Highway Administration, 2010. Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). Report No FHWA-HRT-09-060, US Department of Transportation.
- Federal Highway Administration, 2021. A Safe System-Based Framework and Analytical Methodology for Assessing Intersections. Report No FHWA-SA-21-008, US Department of Transportation.
- Hughes, W., Jagannathan R., Sengupta, D., Hummer, J.E. , 2010. Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). Publication FHWA-HRT-09-060. FHWA, US Department of Transportation.
- Hummer, J.E., Reid, J.D., 2000. Unconventional Left-Turn Alternatives for Urban and Suburban Arterials. *Urban Street Symposium*, 28–30 Haziran 1999, Dallas, Texas, 17.
- Jagannathan, R., Bared, J.G., 2005. Design and Performance Analysis of Pedestrian Crossing Facilities for Continuous Flow Intersections. *Transportation Research Record*, 1939(1), 133–144.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005. *Karayolu Tasarım El Kitabı*. Ankara.
- Dönmez Akın, M., Kırbas, U., Akın, E., 2022. Şehir geçişi hizmet sınıfındaki yollarda yan yol katılımlarından kaynaklanan sorunların çözümüne bir öneri: Samsun örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* 5(2), 211-226.
- Mersinlioğlu, Ç., Çelik, H., Aygün, E., Karaman, F., Abbaszade, E., Yıldız, A.M., Yılmaz, H., 2022. İSBAK'ın Ar-Ge Merkezi "Akıllı Şehir İstanbul" için çalışıyor. <https://www.insaatdunyasi.com.tr/bolumler/makale/isbakin-ar-ge-merkezi-akilli-sehir-istanbul-icin-calisiyor/>
- Mier FD, Romo BH, Inventors Continuous Flow Intersection. United States patent US5049000. 1991.
- Murat, Y. Ş. 1996. Denizli şehir içi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi.
- Park, S., Rakha, H., 2010. Continuous Flow Intersections: A Safety and Environmental Perspective, 13. International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2010, Funchal, Portekiz. 85-90.
- Qu, W., Sun, Q., Zhao, Q., Tao, T., Qi, Y., 2020. Statistical Analysis of Safety Performance of Displaced Left-Turn Intersections: Case Studies in San Marcos, Texas, *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Reid, J.D., ve Hummer, J.E., 2001. Travel Time Comparisons Between Seven Unconventional Arterial Intersection Designs. *Transportation Research Record*, 1751(1), 56 - 66.

Steyn, H., Bugg, Z., Ray, B., Daleiden, A., Jenior, P., Knudsen, J., Inc, K., Inc, A., 2014. Displaced Left Turn Informational Guide. Report No FHWA-SA-14-068, US Department of Transportation.

Sun, W., Wu, X., Wang, Y., Yu, G., 2015. A Continuous-Flow-Intersection-Lite (CFI-Lite) Design and Traffic Control for Oversaturated Bottleneck Intersections. Transportation Research Part C, 2015(56) 18–33.

Wu, X., Juarez, D., Jia, X., 2014. Optimal Signal Timing Models for the FHWA and Mexico 4-legged Continuous Flow Intersections. Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, 12–16 Ocak 2014, Washington, 25.

Yang, X.F., Chang, G.L., Rahwanji, S., Lu, Y., 2013. Development of Planning-Stage Models for Analyzing Continuous Flow Intersections. Journal of Transportation Engineering, 139 (11), 1124–1132.

Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi.

Zhao, J., Ma, W., Head, K.L., Yang, X., 2015. Optimal Operation of Displaced Left-Turn Intersections: A Lane-Based Approach. Transportation Research Part C, 2015(2), 29–48.

TEŞEKKÜR ve BEYANLAR / ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS

"1. yazar %60 oranında, 2. yazar %40 oranında katkı sağlamıştır."

"Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır."

Not: Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Prof. Dr. Mustafa ILICALI danışmanlığında, Hüseyin YILMAZ tarafından yürütülecek olan, "Yenilikçi Sinyalize Kavşak Tasarımlarının Araştırılması Ve Mikro Simülasyon İle Analiz Edilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.