

## Araştırma Makalesi

### Trafik simülasyon yazılımlarına genel bakış

Sinem Akkaya<sup>1\*</sup>, Taylan Engin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies, Bandirma Onyedi Eylul University, Bandirma, Turkey

\*Correspondence: [sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr](mailto:sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1090209

**Özet:** Bu çalışma, günümüzde araç sayısının artmasına bağlı olarak meydana gelen trafik yoğunluğu durumunu değerlendirmek ve modellemek için kullanılan trafik simülasyon yazılımları arasından seçilen bir grup programın (SUMO, Quadstone Paramics Modeller, Aimsun, Trafficware SimTraffic, CORSIM TRAFVU, PTV Vissim) genel özelliklerini incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Trafik simülasyonu, ulaşım ağlarının ve sistemlerinin trafik modellemesi, planlaması ve geliştirilmesi araştırmalarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Makroskopik, mezoskopik mikroskopik ve nanoskopik olarak dört kategoride incelenirler. Bazıları sadece bir kategori özelliğine sahipken bazıları da hibrit sistemlerdir. Ulaşım sistemleri ve bunların ürettiği sorunlar, küresel olarak artan bir ilgi ve endişe kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Karmaşık trafik sistemlerinin modellenmesi ve oluşan karmaşanın çözümünün oluşturulması zor bir problemdir. Gerçek hayatta yapılacak denemeler, pratik ve kısa zamanlı olmamaktadır. Trafik simülasyon yazılımları uygulama açısından oldukça pratik ve daha kısa zamanlı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte öngörülen uygulamaların simülasyon ortamında denemesi ve taşıt trafiğine uyarlanması çok daha çabuk olmaktadır. Dolayısıyla oluşan karmaşanın veya sıkışıklığın daha kısa zamanda çözülmesi hem mali açıdan hem de zamandan tasarruf sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ulaşım sistemleri, trafik simülasyon, trafik simülasyon yazılımları

### Traffic simulation software overview

**Abstract:** This study has been prepared to examine the general features of a group of traffic simulation software (SUMO, Quadstone Paramics Models, Aimsun, Trafficware SimTraffic, CORSIM TRAFVU, PTV Vissim) used to evaluate and model the traffic density situation due to the increase in the number of vehicles today. Traffic computer simulation is a widely used method in traffic modeling, planning and development research of traffic networks and systems. They are examined in four categories as microscopic, macroscopic, mesoscopic and nanoscopic. Some have only one category feature, while others are integrated systems. Vehicle traffic systems and the problems they produce stand out as a source of increasing interest and concern globally. Modeling complex traffic systems and solving the resulting complexity is a difficult problem. Experiments in real life will not be practical and in short-term. Traffic simulation software is very practical and less time-consuming in terms of implementation. However, it is much quicker to test the foreseen applications in the simulation environment and adapt them to the vehicle traffic. Therefore, solving the confusion or congestion in a shorter time saves both time and money.

**Key words:** Intelligent transportation systems, traffic simulation, traffic simulation software

\* Corresponding author.

E-mail address: [sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr](mailto:sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-1233-4724; 0000-0001-6981-0683 (in hierarchical order)

Received 19.03.2022; accepted 20.09.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

## 1. Giriş

Trafik simülasyonu, farklı bilim dallarında giderek daha popüler hale gelen bir analiz yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanda çalışan uzmanlar, bilgisayar yardımı ile yapay deney ortamlarını canlandırarak farklı bilimsel problemlerin çözümünü aramaktadırlar. Fizibilitelerini ve doğruluğunu kanıtlamak veya çürütmek, bilimsel modelleri test etmek için bu simülasyon ortamlarını kullanırlar (Kotusevski & Hawick, 2009).

Günümüz teknolojisindeki ilerleme, insanlara herhangi bir gerçek ortamdan çok daha hızlı bir şekilde sanal ortamda simülasyon yapabilme yeteneği sağlamaktadır. Simüle edilmiş ortamın sonucu, aynı deneyin gerçek dünyada yapılması durumunda sağlayabileceğinden dakikalar, saatler, günler ve hatta haftalar öncesinden sonuçların görülebilmesi imkanını sağlar.

Simülasyon ortamı kullanan ve yaygın olarak çalışılan sistemlerden biri de trafik ağıdır, çünkü trafiği gerçek bir ortamda denemek pratik değildir (Ejercito, Nebrija, Feria, & Lara-Figueroa, 2018).

Trafik simülasyon programları üç ana kategoriye (mikroskopik, mezoskopik ve makroskopik) ve iki ana yaklaşıma (sürekli ve ayrık) ayrılır. Mikroskopik modeller, bireysel araçların durumunu sürekli veya ayrık olarak tahmin eder ve öncelikle bireysel araç hızlarına, konumlarına odaklanır. Makroskopik modeller, trafik akımında, hız, akım ve yoğunluk olarak kabul edilen etkinlik ölçülerini bir araya getirir (Boxill & Yu, 2000). Mezoskopik modeller hem makroskopik hem de mikroskopik modellerin yaklaşımlarından oluşur. Mezoskopik modeller, makroskopik modellerin toplu seviye yaklaşımı ile mikroskopik modellerin bireysel etkileşimleri arasındaki boşluğu, trafik varlıklarını yüksek ayrıntı düzeyinde tanımlayarak doldururken, davranışları ve etkileşimleri, daha düşük ayrıntıda tasarlanır.

Literatürde Ejercito et al (2018), Matsim - Version 0.8.0, SUMO-Version 0.28.0, Aimsun-Version 8.1 ve PTV Vissim - Version 9'in genel özelliklerini Metro Manila şehrinin trafiğini en iyi şekilde simüle edebilmek için değerlendirmiştir. Kim, Suh, & Kim (2014) CORSIM'de ağıdaki her aracın konumunu ve hareketini saniyede bir kez izleme gibi bazı özelliklerin test edilmesi yoluyla "arıza ve iyileşme durumu" altında trafik akım özelliklerini incelemiştir. Kotusevski & Hawick (2009), SUMO - Simulation of Urban Mobility, sürüm 0.10.3, Quadstone Paramics Modeller, sürüm 6.4.1, Treiber'in Karayolu Trafik Ağı Mikrosimülasyonu, Aimsun, sürüm 6.0.4, Trafficware SimTraffic, sürüm 6 (yapı 614), Corsim TRAFVU, sürüm 6.1 yazılımlarını, uygulamalarını ve bunların karşılaştığı sorunları gözden geçirmiş ve bazı algoritmik çözümler sunmuşlardır. Ratrou, Rahman, & Box (2009) sıkça kullanılan mikroskopik ve makroskopik trafik simülasyon yazılımları olan Vissim, Corsim, Aimsun, Hatsim, Integration, Paramics, MitsimLab'ın karşılaştırmalı analizini yapmıştır. Çalışmada bu yazılımların özellikleri incelenmiş ve hangi kısımlarda daha çok öne çıktıklarından bahsedilmiştir. Ramadhan, Bagus, & Nugrah (2017) Web Tabanlı Makroskopik Yol Trafik Simülatörü isimli çalışmada önerdiği web tabanlı simülatör ile harita verilerinin hazırlanması, trafik ağının oluşturulması, simülatöre trafik verilerinin entegrasyonu ve araç üretimi açısından değerlendirme yapmıştır.

Günümüzde artan hesaplama gücü, kavşaklar gibi ulaşım sistemlerinin belirli unsurlarının simülasyonunda fiziksel yolun ve çevresinin hassas bir şekilde modellenmesine katkıda bulunmuştur. Bu durumda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemlerinin grafik kullanıcı arayüzü ile entegrasyonu önemli bir rol oynar. Bu çalışmada farklı trafik stratejilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan farklı makroskopik simülasyon yazılım paketlerini ve genel özellikleri incelenmiştir.

## 2. Trafik simülasyon yazılımları

Trafik sistemleri, insan etkileşimleri ve insan-makine etkileşimleri nedeniyle karmaşık sistemlerdir. Bu tür bir sistemin karmaşıklığı nedeniyle, uygulamadan önce önerilen bir eylem planını test etmek, değerlendirmek ve göstermek için simülasyon gereklidir (Ratrou et al., 2009). Bu değerlendirmeleri gerçekleştirmek için kullanılan farklı trafik simülasyon yazılımları mevcuttur. Bu yazılımlar içinde yaygın olarak kullanılanların temel özellikleri ele alınarak açıklanmıştır:

- SUMO - Simulation of Urban Mobility, sürüm 0.10.3

Simulation of Urban MObility" (SUMO), büyük yol ağlarını yönetmek için tasarlanmış açık kaynaklı, mikroskobik bir yol trafiği simülasyon paketidir.

- Quadstone Paramics Modeller, sürüm 6.4.1

Quadstone PARAMICS, tek kavşaklardan ulusal ağlara kadar tüm ağ boyutları yelpazesini kapsayan trafik modellemesine birleşik bir yaklaşım sağlayan mikroskobik trafik simülasyonu için bir yazılım modelleri paketidir. Gelişmekte olan akıllı ulaşım sistemleri altyapılarını modeller (Url-3 2022).

- Aimsun, sürüm 6.0.4

AIMSUN, üç tür taşıma modelini tek bir yazılım uygulamasına entegre eder. Bunlar trafik atama modelleri, mezoskopik bir simülatör ve bir mikro simülatördür (Url-1 2022). Mikroskobik model, araba takip, şerit değiştirme ve boşluk kabul algoritmalarına dayalı olarak geliştirilmiştir.

- Trafficware SimTraffic, sürüm 6 (yapı 614)

SimTraffic, sokak ağlarını modellemek için SYNCHRO programını kullanan mikroskobik bir simülasyon paketidir. Başlangıçta arteriyel sinyal sistemi zamanlamasını modellemek için geliştirilmiştir. Yüzeysel sokak ağlarını, otoyolları, örülme bölümlerini, önceden ayarlanmış ve çalıştırılan trafik sinyallerini, dur kontrollü kavşakları, döner kavşakları, toplu taşıma işlemlerini, yaya vb. simüle edebilir (Url-5 2022).

- CORSIM TRAFVU, sürüm 6.1

CORSIM, otoyolların, kentsel caddelerin ve koridorların veya ağların analizi için tasarlanmış mikroskobik, stokastik, bağlantı düğümü ve periyodik tarama tabanlı bir trafik simülasyon programıdır (Prevedouros & Wang, 1999). CORSIM TRAFVU sunucuları, bir trafik simülasyonu görüntüleyicisidir ve CORSIM yazılım paketinin bir parçasıdır. Trafik Yazılımı Entegre Sisteminin önemli bir unsuru olan TRAFVU, analistin ağı grafiksel olarak görüntülemesine ve animasyon kullanarak performansını değerlendirmesine olanak tanıyan bir çıktı işlemcisidir (Kim et al., 2014).

- PTV Vissim - Sürüm 9

VISSIM, ayrık, stokastik ve zaman adımına dayalı mikroskobik bir model olan bir trafik akış modeline dayanmaktadır. Model, sürücü-araç birimlerini tekil varlıklar olarak kabul eder ve uzunlamasına araç hareketi için psiko-fiziksel bir araba izleyen modeli ve yanıl hareketler için kural tabanlı bir algoritma içerir (Url-4 2022).

Simülasyon alanında en çok kullanılan bu altı yazılım paketi aşağıdaki kriterlere göre incelenmiştir.

1. Açık Kaynak ve Ücretsiz Kullanım
2. İşletim Sistemi Taşınabilirliği
3. Paket Dokümantasyonu ve Kullanıcı Arayüzü
4. Trafik Ağları ve İlgili Araç Modelleri Oluşturma
5. GUI Simülasyonu ve Grafik Gösteriminin Kalitesi
6. Simülasyon Çıktısı (veriler ve dosyalar)
7. Çok Büyük Trafik Ağlarını Simüle Etme Yeteneği
8. CPU ve Bellek Performansı
9. Ek Yetenekler

### 2.1. Açık kaynak ve ücretsiz kullanım

Açık kaynak kodlu yazılımlar kullanıcılara yazılımı ücretsiz olarak kullanma hakkı veren yazılımlardır. Bu özellik, ticari yazılım paketlerinde pek yaygın değildir. Bununla birlikte, açık kaynak projeleri, kullanıcılarına herhangi bir kısıtlama olmaksızın programı kullanma, çalışma ve değiştirme hakkı verdikleri için giderek daha popüler hale gelmektedir (Kotusevski and Hawick 2009).

*SUMO*, ücretsiz bir yazılımdır. Ücretsiz yazılımların başka bir özelliği de kaynak kodlarının da indirilip kullanılabilir olmasıdır. *SUMO*, iki farklı kurum tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir yazılım projesidir (Url-2 2022).

*Quadstone Paramics Modeller*, *Aimsun*, *Trafficware SimTraffic*, *CORSIM TRAFVU*, *PTV Vissim* yazılımları ve kaynak kodları ücretli olup 30 günlük demo kullanımları mümkündür. Fakat bunların bazılarının demo sürümlerinde özellik kısıtlamaları mevcuttur.

Açık kaynak yazılımlarının en popüler özelliği, ileri teknoloji bilgisayar sistemlerini keşfetmek için simülasyon modellerini ve paketlerini paralel kullanma imkanı destekler oluşudur (Kotusevski and Hawick 2009).

**Tablo 1.** Trafik yazılımlarının açık kaynaklı olma durumları

	<b>SUMO, V:0.10.3</b>	<b>Aimsun V:6.0.4</b>	<b>Paramics V:6.4.1</b>	<b>SimTraffic, V:6</b>	<b>CORSIM V:6.1</b>	<b>PTV Vissim V:9</b>
<b>Açık kaynaklılık</b>	✓	X	X	X	X	X

## 2.2. İşletim sistemi taşınabilirliği

Taşınabilirlik, bir bilgisayar programının yeniden bir işlem gerektirmeden oluşturulduğu işletim sisteminden başka bir işletim sisteminde kullanılabilmesi özelliğidir.

*SUMO*, hem Linux hem de Windows, MacOS üzerinde çalışabilirken *Aimsun* Linux, Windows ve MacOS üzerinde çalışabilmektedir. Öte yandan, *Vissim* Windows ve Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir (Ejercito et al. 2018). İşletim sistemi taşınabilirliği, daha fazla kullanıcı getirdiği ve mevcut kullanıcılara daha fazla seçenek sunduğu için çok önemlidir. *Quadstone Paramics*, *Corsim*, daha ticari olanlar, sadece Microsoft Windows XP ve Microsoft Windows Vista işletim sistemlerinde çalışabilmektedir (Url-3 2022), (Url-5 2022).

**Tablo 2.** Trafik yazılımlarının işletim sistemi taşınabilirliği durumları

	<b>SUMO, V:0.10.3</b>	<b>Aimsun V:6.0.4</b>	<b>Paramics V:6.4.1</b>	<b>SimTraffic, V:6</b>	<b>CORSIM V:6.1</b>	<b>PTV Vissim V:9</b>
<b>Windows tabanlı</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Linux tabanlı</b>	✓	✓	X	X	X	✓
<b>MacOS Tabanlı</b>	X	✓	X	X	X	X

## 2.3. Paket dokümantasyonu ve kullanıcı arayüzü

Trafik simülasyon yazılımı gibi karmaşık uygulamaların kullanılabilirliği, iyi açıklanmış ve anlaşılması kolay bir kullanıcı arayüzüne dayanmaktadır. Bu şekildeki bir kullanıcı kılavuzu ve arayüzü özellikle teknik olmayan veya yeni kullanıcılar için yüksek önem arz etmektedir.

Paket yazılımlara bakıldığında *Sim Traffic* oldukça basit bir arayüze sahiptir. Kodlama süreleri göreceli daha kısadır (Steven Jones et al. 2004).

*Vissim* ve *Aimsun*, çevrimiçi olarak indirilebilen PDF belgelerine sahipken, diğer simülasyon yazılımlarının da kolay anlaşılabilir kullanım kılavuzları vardır.

## 2.4. Trafik ağları ve araç modelleri oluşturma

İncelenen bu altı simülasyon paketi içerisinde *SUMO*, *Aimsun*, *Quadstone Paramics* ve *Vissim*'de trafik ağları oluşturmak için grafik düzenleyiciler mevcuttur. Öte yandan *SUMO* paketinin trafik ağı için kendi

grafik düzenleyicisini içermediğini, ancak açık kaynaklı ve kullanımı ücretsiz bir uygulama olarak sunulan bir yazılım olduğunu belirtmek gerekir. Fakat ortaya çıkan hatalar sebebiyle çok kullanışlı olmadığı görüşleri vardır. Bununla birlikte *Simtraffic* ve *Corsim* paketlerinin demo sürümlerinde grafik düzenleyici bulunmamaktadır. *Simtraffic*'in tam sürümünde bir grafik düzenleyici vardır (Kotusevski & Hawick, 2009).

Bahsedilen yazılım paketlerine ait teknikler aşağıdaki gibidir:

#### SUMO:

- Trafik yol ağının bir XML dosyasına manuel yazılması
- Diğer trafik simülasyon uygulamalarında oluşturulan ağlardan içe aktarım
- Üç farklı ağ türü oluşturabilen otomatik bir ağ oluşturma sistemi:
  - Şebeke ağı: Ağdaki her düğüm, bir veya daha fazla boyut boyunca iki komşu ile bağlanır.
  - Örümcek ağı
  - Rastgele ağ (Kotusevski & Hawick, 2009)

#### Quadstone Paramics:

Demo sürümünde, otomatik ağ oluşturma sihirbazı kullanarak yalnızca basit iki bölgeyi bir ağ oluşturulabilir. Uygulamanın tam sürümünde ise kullanıcı, otomatik ağ oluşturma sihirbazı kullanarak bir trafik ağı oluşturabilir ve daha fazla özelleştirilebilir (Kotusevski & Hawick, 2009).

#### Aimsun ve Vissim:

Paket içerisinde mevcut grafiksel ağ düzenleyicisini kullanarak trafik ağı manuel olarak çizilebilir (Ejercito et al., 2018).

Simülasyon uygulamalarının bazılarında araç hareket modellerini tanımlamak için daha kullanıcı dostu olan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Uygulamaların kullandıkları modellerden dolayı (mikro ya da makro model olması gibi) farklılıklar vardır. Örnek olarak *SUMO*, her aracın kendi destinasyonunu ve varış yerine kadar geçmesi gereken yolları bilen tek uygulamadır. İncelenen diğer uygulamalar araç hareketleri konusunda benzer yaklaşımlar göstermektedir. *Vissim*, aracın çıkış ve varış noktaları arasındaki seyahat süresini belirler ama *CORSIM* belirli bir rota için seyahat süresini belirlemek üzere toplanabilen her bağlantı için seyahat süreleri üretir (dönüş seyahat süreleri oluşturulabilir) (Bloomberg & Dale, 2000). Bahsedilen yazılımların araç hareket modellemesine yaklaşımları şu şekildedir:

#### SUMO:

Dört farklı tanım türüne göre kullanıcının oluşturduğu araç rotası tanımı:

- Trafik akımı tanımları;
- Trafik akımı ve dönüş oranları;
- Başlangıç- varış (O-D) matrisleri;
- Diğer trafik simülasyonu uygulamalarında oluşturulan araç rotalarını içe aktarım
- Rastgele bir araç rota oluşturucu kullanma.

#### Quadstone Paramics:

- Başlangıç- varış (O-D) matrisi uygulama

#### Aimsun:

- Bölge arz ve talebini kullanarak O-D matrisleri uygulama
- Paket ayrıca rastgele bir araç rotası seçebilme yeteneğini içerir (Kotusevski & Hawick, 2009).

#### Vissim:

- Araç rotalama kararı
- Trafik arz ve talebini kullanan O-D matrisi uygulama (Ejercito et al., 2018)

*Corsim* ve *Simtraffic*'in demo sürümlerinde bu özellik görülmezken tam sürümlerinde mevcuttur.

**Tablo 3.** Trafik yazılımlarının araç modelleme yetenekleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
<b>Yol ağı oluşturma</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Araç modelleme yeteneği</b>	✓	✓	X	X	X	✓

### 2.5. Kullanıcı grafik arayüzü ve grafik gösteriminin kalitesi

Simülasyon yazılımları gibi karmaşık olan sistemlerin rahat kullanılabilirliği, iyi açıklanarak hazırlanmış bir dokümantasyon ve basit bir grafik arayüzü ile sağlanabilir.

Teknik bilgisi olmayan bir kullanıcının, bir trafik simülasyonunun sonuçlarını görmesinin en iyi yollarından biri, simülasyonu gerçek zamanlı olarak çalışırken izleyebilmesidir. Trafik simülasyonunun grafiksel gösterimi, önemli bir olayın tam olarak ne zaman ve hangi periyotlarda gerçekleştiğini incelemek için iyi bir yöntemdir. Bu yöntem, simülasyon sırasında bir şey değişirse veya trafik düzeninde bir tür bozulma olursa, trafik akımı üzerinde olumlu veya olumsuz bir etki olup olmadığını belirlemeye de yardımcı olabilir (Kotusevski & Hawick, 2009).

Quadstone Paramics Modeller ve Vissim tüm paketler arasında en iyi grafik gösterimine sahip yazılımlardır. Quadstone Paramics, şehirdeki binalar, araçlar, yayalar vb. için kullanılacak doku tipleri içerir ve böylece simülasyon Şekil 1'de gösterildiği gibi diğer paketlerden çok daha gerçekçi bir görünüme kavuşur. Paramics Modeller'da kullanıcının istediği kadar simülasyonu farklı referans noktalarından görüntüleyen kamera ekleme özelliği bulunmaktadır. Kullanıcı, simülasyon çalışırken aynı anda trafik ağı içindeki tüm ilgi noktalarının farklı açılarından görebilir ve bunlar üzerinden trafik modelini çok net bir şekilde inceleyebilir.

**Şekil 1.** Paramics simülasyon çalışması

*Aimsun* paketi, simülasyonun basit bir üç boyutlu ön izlemesini içerir. Ayrıca, Şekil 2'de gösterildiği gibi, trafik ağının tüm ilgi çekici noktalarını yakalamak için gerektiği kadar kamera ekleme özelliğine sahiptir (Kotusevski and Hawick 2009). Aynı zamanda simülasyon 360 derecelik bir açıyla görüntülenebilir. Fakat araç, bina ve yaya grafikleri detaylı değildir (Ejercito et al. 2018).



Şekil 2. Aimsun 3D

*SUMO*, sadece trafik ağında gerçekleştirenleri ölçüp tanımlamaya yarayabilecek istatistik ve çıktı dosyalarını içeren grafiksel olmayan bir simülasyon tipine sahiptir (Kotusevski and Hawick 2009).

*SimTraffic*, iki boyutlu simülasyon içerir fakat kullanıcı kılavuzunda uygulamanın üç boyutlu görünümü desteklediği belirtilmektedir. Yazılım grafiksel verilerin s3d dosyası formatında saklanıp sonrasında 3D bir grafik paketinde görüntülenebileceğini iddia eder. Fakat günümüzde bu dosya formatıyla çalışan bir paket kalmadığından uygulama geliştiricilerinin bu konuda güncelleme yapması gerektiği kanaati oluşmuştur.

*Corsim Trafvu* da iki boyutlu simülasyon özelliğine sahiptir (Kotusevski and Hawick 2009).

*Vissim*'in grafiksel öğeleri çok kapsamlı ve karmaşıktır fakat bunları detaylı anlatım içeren kılavuzu yardımıyla çözmek mümkündür. *Vissim* üç boyutlu görüntü yeteneklerine sahip bir yazılımdır. Daha gerçekçi bina yapıları, araçlar ve yayalar oluşturulabilir, aynı zamanda simülasyon 360 derecelik bir açıyla izlenebilir (Şekil 3) (Ejercito et al. 2018).



Şekil 3. Vissim 3D

Tablo 4. Trafik yazılımlarının grafik gösterimleri

	<b>SUMO, V:0.10.3</b>	<b>Aimsun V:6.0.4</b>	<b>Paramics V:6.4.1</b>	<b>SimTraffic, V:6</b>	<b>CORSIM V:6.1</b>	<b>PTV Vissim V:9</b>
<b>Grafik Özellikleri 2D</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Grafik Özellikleri 3D</b>	X	✓	✓	X	X	✓

## 2.6. Simülasyon çıktıları (veri ve dosyalar)

Bir trafik simülasyonunun grafiksel gösterimini takip etmek, belirli bir trafik ağı üzerinden trafik akımını belirlemenin en iyi yöntemlerinden biri olsa da istatistiksel çıktı her zaman gerçek bir trafik simülasyonu izlerken insan gözünden kaçabilecek ek bilgiler vermektedir. İncelenen yazılım paketlerinin çoğunun bir tür çıktı dosyası veya veri içermesinin nedeni budur. Aşağıda simülasyon paketlerinin bu konudaki yaklaşımları verilmiştir:

**SUMO:**

- Rota Detektörleri: Rota dağılımlarını örneklemek için detektör
  - ✓ Kenar şeridi trafiği: Kenar veya şerit tabanlı ağ performans ölçümleri
  - ✓ Yolculuk bilgileri: Her aracın yolculuğu hakkında toplu bilgi
  - ✓ Araç rota bilgileri: Simülasyon çalışması boyunca her aracın rotaları hakkında bilgi
  - ✓ Simülasyon durumu istatistikleri: Simülasyonun mevcut durumu hakkında bilgi

**Aimsun:**

- ✓ İstatistiksel simülasyon sonuçları: Ağ, Bölüm, Düğüm
- ✓ Çıktı veritabanı tanımı
- ✓ Trafik istatistiklerinin hesaplanması
- ✓ Deneysel çıktısı
- ✓ Harita çıktısı

**Vissim:**

- ✓ Senaryo Yönetimi: Senaryo sonuçlarını rahatça karşılaştırma
- ✓ Gelişmiş değerlendirme olanakları: Düğümler için hizmet düzeyi sonuçları
- ✓ Matris düzenleyici aracılığıyla matrislerin iyileştirilmiş kullanımı
- ✓ Görselleştirme vurguları
- ✓ Araç kaydı
- ✓ Araç seyahat süreleri (ham veri)
- ✓ Yaya kaydı
- ✓ Düğümler (ham veri)
- ✓ Sinyal değişiklikleri (Ejercito et al. 2018)

*Simtraffic* tam sürümde trafik ağı simülasyonunun çıktısını farklı raporlar şeklinde verir. Ancak demo sürümde bu mevcut değildir.

*Corsim TRAFVU* yazılımı, CORSIM paketi tarafından oluşturulan simülasyonu yalnızca önizlemek için kullanılan bir grafik oynatıcıdır, bu nedenle herhangi bir çıktı dosyası türü içermez. Ancak, TSIS CORSIM paketinin tam sürümünün, belirli bir trafik ağının simülasyonundan elde edilen sonuçların bazı istatistiksel temsil yollarını ve çıktı dosyalarını içerir (Kotusevski and Hawick 2009).

**Tablo 5.** Trafik yazılımlarının raporlama özellikleri

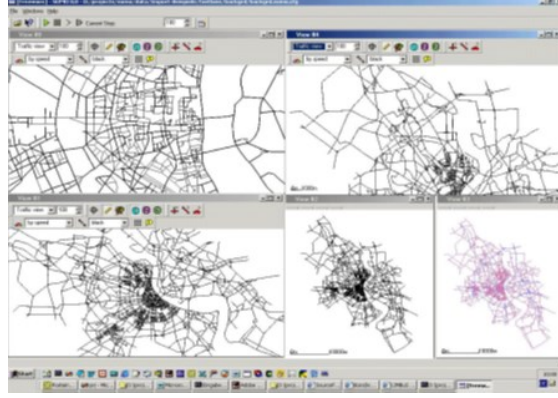
	<b>SUMO, V:0.10.3</b>	<b>Aimsun V:6.0.4</b>	<b>Paramics V:6.4.1</b>	<b>SimTraffic, V:6</b>	<b>CORSIM V:6.1</b>	<b>PTV Vissim V:9</b>
<b>Simülasyon Raporlama</b>	✓	✓	X	✓	X	✓

### 2.7. Çok büyük trafik ağlarını simüle etme yeteneği

Trafik ağları, spesifik değişiklikleri ve bunların ağ üzerindeki etkilerini planlamak için simüle edilir. Bu şehrin başlıca caddelerinden biri olabilir ya da büyük bir şehrin karmaşık şehir merkezi olabilir. Bu sebeple yüzlerce sokak, cadde veya binlerce aracın bulunduğu geniş trafik ağları simüle etme seçeneği bir yazılım paketi için önemlidir (Ejercito et al. 2018).

Ücretli yazılımların demo sürümleri ve ücretsiz yazılımların tam sürümleri incelendiğinde kurulan daha geniş ağı trafik simülasyonlarının hızının daha düşük olduğu görülmüştür. *Aimsun*, *Vissim* ve *SUMO*'nun geniş trafik ağı simüle edebilme yeteneği vardır. *Aimsun*'un giriş prosedürleri model oluşturma süresinin hızlanmasına yardımcı olmaktadır (Ratrou, Rahman, and Box 2009).





Şekil 4. SUMO yazılımıyla yapılan Köln şehri simülasyonu

Tablo 6. Trafik yazılımlarının geniş ulaşım ağı simüle etme özellikleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
<b>Geniş Yol Ağı Modelleme</b>	✓	✓	X	X	X	✓

### 2.8. İşlemci ve bellek performansı

Yazılım paketlerinin aktif haldeyken kullandığı bellek ve işlemci seviyeleri Tablo7’de verilmiştir:

Tablo 7. Yazılımların işlemci ve hafıza kullanımları

	SUMO	Paramics Modeller	Vissim	Aimsun	SimTraffic	Corsim TRAFVU
<b>İşlemci kullanımı</b>	% 5-17 arasında	Sabit %50	En az %50	% 25-40 arasında	Sabit %50	Sabit %50
<b>Ön bellek kullanımı</b>	12-16 MB arası	Grafik modelleri ve trafik ağına göre 40-140 MB arası	16 GB ve üstü	% 30 -40 arasında	35 MB civarında	Araç sayısına göre % 28-32 arasında

### 2.9. Ek yetenekler

**Farklı Araç Tiplerinin Simülasyonu:** Basit ya da detaylı seçeneklerle incelenen tüm simülasyon yazılımlarında mevcuttur.

**Trafik Işıkları (Sinyalizasyon) Yapılandırabilme:** Tüm paketlerde kolay veya zor şekilde düzenleme yapmak mümkündür. Örneğin; *SUMO*’da bu yapılandırmanın manuel olarak yapılması gerekmektedir. Diğer yazılımlarda ise demo sürümlerinde bu özellik yoktur.

**Toplu Taşıma ve Toplu Taşıma Durakları Ekleme:** Şehir içi trafiğinde, trafik sıkışıklığında ve tıkanıklıklarda en önemli faktör şüphesiz şehir içi toplu ulaşımdır. Kent trafiğinde önemli yeri olan toplu taşıma faktörünü simülasyona ekleme özelliği trafik simülasyon uygulaması için büyük önem arz etmektedir. Kullanıcı, trafik ağına otobüs, tren, tramvay vb. ekleyerek bunların ağıdaki akışı nasıl etkilediğini ve istenilen düzeyde değilse bu akışı iyileştirmek için neler yapılabileceğini görebilir. İncelenen yazılımlar arasında *SUMO*, *Paramics*, *Aimsun*, *Vissim* ve *Corsim*’de bu özellikler mevcuttur (Url-1 2022), (Url-3 2022). *SimTraffic*’te ise böyle bir özellik bulunmamaktadır (Url-5 2022).

**Tablo 8.** Trafik yazılımlarının ek özellikleri

	<b>SUMO, V:0.10.3</b>	<b>Aimsun V:6.0.4</b>	<b>Paramics V:6.4.1</b>	<b>SimTraffic, V:6</b>	<b>CORSIM V:6.1</b>	<b>PTV Vissim V:9</b>
<b>Araç tipleri</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Sinyalizasyon Modelleme</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Toplu Taşıma Özelliği</b>	✓	✓	✓	X	✓	✓

### 3. Sonuç

Bu çalışmada bahsedilen trafik simülasyon paketlerinin çoğunun amacı mühendislerin tasarlamayı veya değişiklik eklemeyi planladıkları bir trafik ağını simüle etmelerine yardımcı olmaktır. Bu sayede gerçekleştirilecek değişiklikler hakkında ön bilgi sahibi olarak avantaj ve dezavantajların önceden görülmesi ve projenin daha iyi hale getirilmesine çok önemli katkı sunmaktadır. İncelenen yazılım uygulamalarının her biri, tam sürümleri kullanılırken, kullanıcı için bu görevi yerine getirecek ve mevcut ya da halen planlama aşamasında olan, ilgili bilgileri, istatistikleri ve trafik sisteminin özizlemesini sağlayacaktır. Trafik simülasyon yazılımları analizciler açısından oldukça maliyetli olan ulaşım yatırımlarında doğru karar vermeyi sağlarken kamu ve yatırımcı açısından da maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu neden ile doğru trafik simülasyon yazılımının kullanılmasının önemi daha da artmaktadır.

**Tablo 9.** Simülasyon yazılımları genel özellik karşılaştırması

	<b>SUMO, V:0.10.3</b>	<b>Aimsun V:6.0.4</b>	<b>Paramics V:6.4.1</b>	<b>SimTraffic, V:6</b>	<b>CORSIM V:6.1</b>	<b>PTV Vissim V:9</b>
<b>Açık Kaynak</b>	✓	X	X	X	X	X
<b>Windows tabanlı</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Linux tabanlı</b>	✓	✓	X	X	X	✓
<b>MacOS Tabanlı</b>	X	✓	X	X	X	X
<b>Yol ağı oluşturma</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Araç modelleme yeteneği</b>	✓	✓	X	X	X	✓
<b>Grafik Özellikleri 2D</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Grafik Özellikleri 3D</b>	X	✓	✓	X	X	✓
<b>Simülasyon Raporlama</b>	✓	✓	X	✓	X	✓
<b>Geniş Yol Ağı Modelleme</b>	✓	✓	X	X	X	✓
<b>Max. CPU kullanımı</b>	17%	40%	50%	50%	50%	50%
<b>Araç tipleri</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Sinyalizasyon Modelleme</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Toplu Taşıma Özelliği</b>	✓	✓	✓	X	✓	✓

İncelenen yazılımların genel özellikleri bir bütün halinde Tablo.2’de sunulmuştur (Kotusevski and Hawick 2009), (Ejercito et al. 2018). Bu paketler arasında SUMO, Aimsun ve Vissim'in genel olarak kabul edilebilir sonuçlar sağlayabileceği görülmüştür. Her üç simülasyon paketinin de oldukça iyi performans gösterdiği ancak bir yol ağı analizi için birini seçmeden önce probleme dair anlaşılması gereken bazı sınırlamalar olduğunu da dikkate almak gerekir. Görsel özellikleri ve hız açısından Aimsun ve Vissim'in ön plana çıkmasının karşısında yazılım maliyeti ile fiyat-performans karşılaştırması yapıldığında SUMO ön plana çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bu konuda 'en iyi' veya 'en kötü' yazılım yoktur. Tüm paketlerin ortak ve benzersiz özellikleri veya farklı güçlü ve zayıf yönleri vardır. Trafik simülasyon modellerinin doğrulama özelliği gereği, projenin sağlıklı gerçekleşmesi adına farklı yazılım paketleri ile simülasyon modellerinin analiz edilmesi faydalı olacaktır. Problemin doğru tanımlanması, probleme uygun bir trafik simülasyon yazılımının da seçilmesine katkı sağlayacaktır. Simüle edilecek trafik ağının verilerini ve ihtiyaçlarını bilmek, bir simülasyon paketi seçimi yapmak için kilit nokta olacaktır.

#### **Araştırmacıların katkı oranı beyanı**

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

#### **Çıkar çatışması beyanı**

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Destek ve teşekkür beyanı**

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

#### **Referanslar**

**Bloomberg, L., & Dale, J.** (2000). Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. *Transportation Research Record*, 1727(1), 52-60.

**Ejercito, Paolo M., Kristine Gayle E. Nebrija, Rommel P. Feria, and Ligaya Leah Lara-Figueroa.** 2018. "Traffic Simulation Software Review." *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017* 2018-Janua:1–4. doi: 10.1109/IISA.2017.8316415.

**Kim, S., Suh, W., Kim, J.** 2014. " Traffic flow characteristics in CORSIM". *ICISA 2014 - 2014 5th International Conference on Information Science and Applications* 13-15.

**Kotusevski, G., and K. A. Hawick.** 2009. "A Review of Traffic Simulation Software." 1–19.

**Prevedouros, P. D., & Wang, Y.** (1999). Simulation of large freeway and arterial network with CORSIM, INTEGRATION, and WATSim. *Transportation Research Record*, 1678(1), 197-207.

**Ramadhan, H., & Nugraha, I. G. B. B.** (2017, October). Web-based macroscopic road traffic simulator. In *2017 11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA)* (pp. 1-6). IEEE.

**Ratrout, Nedal T., Syed Masiur Rahman, and Kfupm Box.** 2009. "Number 1B 121." *Number 1B The Arabian Journal for Science and Engineering* 34.

**Steven Jones, By L., Andrew J. Sullivan, Pe Naveen Cheekoti, Michael D. Anderson, and Pe Dillip Malave.** 2004. "Traffic Simulation Software Comparison Study."

**S.A. Boxill and L. Yu.** 2000. "An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development", Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University, USA.

**Url-1.** 2022. "Aimsun: Simulation and AI for Intelligent Mobility." Retrieved February 20, 2022 (<https://www.aimsun.com/>).

**Url-2.** 2022. "Eclipse SUMO - Simulation of Urban MObility." Retrieved February 21, 2022

(<https://www.eclipse.org/sumo/>).

**Url-3**

. 2022. “Paramics Microsimulation - 3D Traffic Simulation Brought to You by SYSTRA.” Retrieved February 20, 2022 (<https://www.paramics.co.uk/en/>).

**Url-4.** 2022. “Traffic Simulation Software | PTV Vissim | PTV Group.” Retrieved February 20, 2022 (<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>).

**Url-5.** 2022. “TRAFFICWARE, A CUBIC COMPANY - A Tradition of Innovation.” Retrieved February 20, 2022 (<https://www.trafficware.com/>).