



# Journal of Turkish Operations Management

## Endüstri mühendisliği perspektifinden akıllı ulaşım sistemleri üzerine sistematik bir literatür taraması

Ali Can GÜVEN<sup>a\*</sup>, Barış KEÇECİ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail: alican.guven@hotmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5809-1097>

<sup>b</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail: bkececi@baskent.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2730-5993>

\*Sorumlu yazar

### Makale Girişi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 09.01.2020  
Revize: 15.05.2020  
Kabul: 30.06.2020

#### Anahtar Kelimeler:

Akıllı ulaşım sistemleri,  
Endüstri mühendisliği,  
Simülasyon,  
Optimizasyon

### Özet

Akıllı şehirler, sakinlerini dijital topluluklara dönüştüren ve onların hayatını her yönden kolaylaştıran bir anlayışla hızla gelişmektedir. Akıllı şehirlerin önemli parçası olan akıllı ulaşım sistemleri (AUS), herkesin vazgeçilmez bir parçası haline geliyor. AUS uygulamaları bugün birçok ülkede yaygın olarak kabul görmekte ve kullanılmaktadır. Kullanım yalnızca trafik sıkışıklığı kontrolü ve bilgileri ile sınırlı değildir, aynı zamanda yol güvenliği ve verimli altyapı kullanımı da ana amaçlar arasındadır. Sunmuş olduğu sınırsız fırsatlar nedeniyle, AUS günümüzde çok disiplinli bir konjonktürel çalışma alanı haline geldi ve bilim dünyasından da yoğun bir ilgi görmüştür. Bu açıdan endüstri mühendisleri için de AUS uygulamalarının geliştirilmesinde özellikle optimizasyon ve simülasyon açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Ayrıca AUS sistemlerinin bir sistem yaklaşımı içinde geliştirilmesi de yine tasarım açısından endüstri mühendisliği ilgi alanına girmektedir. Bu çalışmanın amacı AUS ile ilgili yapılmış olan çalışmaları Endüstri Mühendisliği perspektifinden sistematik bir şekilde inceleyip konuya ilgi duyan araştırmacılara konu ile ilgili genel resmi göstermektir.

### Article Info

#### Article History:

Received: 09.01.2020  
Revised: 15.05.2020  
Accepted: 30.06.2020

#### Keywords:

Intelligent transportation systems,  
Industrial engineering,  
Simulation,  
Optimization

### Abstract

Smart cities are developing rapidly with an understanding that transforms their inhabitants into digital communities and makes their lives easier in several aspects. Intelligent transportation systems (ITS), which is the most important part of smart cities, are becoming an indispensable part of everyone. ITS applications are widely accepted and used in many countries today. Usage is not limited to traffic congestion control and information, but also road safety and efficient infrastructure use are among the main objectives. Due to the unlimited opportunities it offers, ITS has become a multidisciplinary field of study and has received a lot of attention from the scientific community. In this respect, there are important opportunities for industrial engineers in the development of ITS applications, especially in terms of optimization and simulation. In addition, industrial engineers deal with the development of ITS design using a system design perspective. The aim of this study is to examine systematically the studies related to ITS from the Industrial Engineering perspective and to show the general picture to the interested researchers.

## 1. Giriş

Taşımacılık sektöründe enerji tüketimi son on yılda istikrarlı bir şekilde artmıştır ve bu artışın devam etmesi beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, 1973 ile 2010 arasında, ulaştırma sektörünün dünya petrol tüketimindeki payı %45'ten %61'e yükselmiştir. Uluslararası Temiz Taşımacılık Konseyi, 2000 ve 2030 yılları arasında ulaştırma sektöründen kaynaklanan küresel karbondioksit emisyonlarında %112'lik bir artış öngörmektedir. Bu artışın büyük kısmı, gelişmekte olan ekonomilere sahip ülkelerde gelirlerin artmasıyla birlikte, mobilite ve araç sahipliğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, Dünya Enerji Konseyi senaryo projeksiyonlarına göre, gelişmekte olan ülkelerdeki otomobil sayısının 2010 ve 2050 arasında %430'a kadar artabileceğini göstermektedir. Artan gelirler, hareket kabiliyetinin artması ve yaşam kalitesinin artması istenen sonuçlardır. Ancak, bu rakamlar alternatif yakıtlara, alternatif ulaşım modlara ve artan sistem verimliliğine olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır.

2000'li yıllardan itibaren, insanların ve eşyaların verimli bir şekilde taşınması konusunun daha önce tahmin edilenden çok daha karmaşık olduğu açıkça ortaya çıkmaya başlamıştır. Sorun sadece yüzey taşımacılığı ile sınırlı olmamakla birlikte tren, hava yolu taşımacılığı (yolcu ve kargo) ve deniz yolu taşımacılığı (gemi ve feribot) gibi diğer taşıma yöntemlerini de kapsamaktadır. Böylelikle Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kavramı ortaya çıkmıştır. Ulusal ve uluslararası düzeyde gerçek ve pratik çözümler elde etmek için değişik ulaşım modları arasındaki karmaşık ve asenkron olmayan kısıtları da göz önüne alan ve temel bir hedef fonksiyonunun optimizasyonunu hedefleyen (örneğin ulaşım süresinin en küçüklenmesi) bütüncül bir yaklaşımın geliştirilmesi benimsenmiştir. Çok uzak olmayan bir gelecekte, aya, diğer yapay uydulara ve gezegenlere uzay yolculuğu rutin hale gelecektir. AUS temelleri planlanırken gelecekte meydana gelebilecek olan bu tür gelişmeler de göz önüne alınarak entegrasyonun sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Bu karmaşık problemin çözümü iki temel bilimsel ilerlemeye bağlıdır. Bunlardan ilki, güçlü masaüstü iş istasyonları ve mobil dizüstü bilgisayarlar, avuç içi bilgisayarlar ve el tipi kişisel dijital asistanlar (akıllı telefonlar, tabletler) gibi araçlar vasıtasıyla bilgi işlem gücündeki artıştır. İkincisi, iletişim ve kontrol için hem kablolu hem de kablosuz ağ bağlantısı olanaklarının artmasıdır. Ancak, yalnızca bilgi işlem gücü ve ağ bağlantısı olanaklarının yaygınlaşması bir çözümü otomatik olarak garanti etmez. Örneğin, General Elektrik firması araştırmacılarından Carley (1998), yetersiz bilgi, koordinasyon ve kontrol kaynaklı demiryolu koridorlarındaki darboğazlar ve beklemler nedeni ile lokomotiflerin %60 kapasite ile kullanıldıklarını tespit etmiştir. Bu düşük verimlilikle ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği mümkün değildir. Dolayısı ile karmaşık ulaşım problemlerini başarılı bir şekilde çözmek ancak ve ancak kontrol ve koordinasyon algoritmalarının bütün ulaşım modlarını kapsayacak şekilde kapsamlı olarak tasarlanması ile mümkün olacaktır.

Bu çalışmada ilk olarak akıllı ulaşım sistemleri konusunun seçilmesindeki motivasyon ve konunun Endüstri Mühendisliği açısından önemi açıklanacaktır. Üçüncü bölümde araştırma için kullanılan metodoloji, araştırmanın amaçları ve araştırma soruları verilmiştir. Dördüncü bölümde ise yapılan çalışmanın literatüre olan katkısı anlatılmıştır. Beşinci bölümde akıllı ulaşım sistemleri tasarımında modelleme ve simülasyon tekniklerinin kullanımı ile ilgili araştırma sonuçları verilmiş ve altıncı bölümde ise akıllı ulaşım sistemleri tasarımında optimizasyon yaklaşımı ile ilgili yapılan çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir. Son olarak sonuç bölümünde yapılan çalışma özetlenmiştir.

## 2. Motivasyon ve Konunun Endüstri Mühendisliği Açısından İncelenmesi

Akıllı şehirler vatandaşlarını dijital topluluklara dönüştüren ve onların hayatını her yönden kolaylaştıran bir anlayışıyla hızla gelişmektedir. Akıllı şehirlerin en önemli parçası olan akıllı ulaşım sistemleri, herkesin vazgeçilmez bir parçası haline geliyor. Herhangi bir şehirde hareketlilik kilit bir husustur. Vatandaşların hayatlarını akıllı ulaşım sistemleri ile güçlendirmek onlara zaman kazandırabilir ve şehri daha da akıllı hale getirebilir. AUS trafik sorunlarını en aza indirerek trafik verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Kullanıcıları trafik, gerçek zamanlı çalışma bilgileri, koltukların kullanılabilirliği vb. konular hakkında önceden bilgilendirerek karar vermelerine yardımcı olur ve bu da taşıtların seyahat süresini azaltır, güvenlik ve rahatlıklarını artırır.

AUS uygulamaları bugün birçok ülkede yaygın olarak kabul görmekte ve kullanılmaktadır. Kullanım yalnızca trafik sıkışıklığı kontrolü ve bilgileri ile sınırlı değildir, aynı zamanda yol güvenliği ve verimli altyapı kullanımı da ana amaçlar arasındadır. Sınırsız olanakları nedeniyle, AUS günümüzde çok disiplinli bir konjonktürel çalışma alanı haline geldi ve bu nedenle dünyadaki birçok kuruluş, AUS uygulamaları geliştirmek için yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Bu açıdan endüstri mühendisleri için de AUS uygulamalarının geliştirilmesinde özellikle optimizasyon ve simülasyon

açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Ayrıca AUS sistemlerinin bir sistem yaklaşımı içinde geliştirilmesi de yine tasarım açısından endüstri mühendisliği ilgi alanına girmektedir.

Yük taşımacılığı ve lojistik doğal olarak Endüstri Mühendisliğinin ilgi alanına giren iki ana başlıktır, çünkü bir tedarik zinciri performansı bu iki temel bileşenin etkinliğine bağlıdır. Endüstri mühendisleri hammaddelerin üretim birimlerine ulaşmasını ve nihai ürünlerin müşteriye zamanında ve en uygun maliyetle ulaşmasını sağlamak için çalışırlar. Yük taşımacılığı sistemlerini ve lojistiğini geliştirmek için birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, özellikle de birden çok taşımacılık alt sistemi (yük taşımacılığı, toplu taşıma ve bireysel araçlar) tek bir taşımacılık sistemi olarak kabul edildiğinde, yapılacak önemli ölçüde araştırma konusu bulunmaktadır.

Karşılaşılabilecek sorunlar hem çoktur hem de bu problemlerin çözümü oldukça zordur. Ekonomik açıdan bakarsak, şirketler ham maddelerinin, ürünlerinin ve çalışanlarının zamanında istenilen yerde olmasını isterler. Toplum açısından bakarsak, taşıma sistemleri bireylerin istedikleri her yere gitmelerini ve mümkün olan en az yorgunluk ile görevlerine hızlı bir şekilde ulaşmalarını sağlamalıdır. Ulaşım sistemleri ayrıca hükümetlerin az gelişmiş bölgelere erişim sağlamalarının bir aracıdır. Son olarak, iyi ulaşım sistemleri, bireysel taşıtlar yerine çok modlu taşıma alternatifleri (yürüme, bisiklete binme, tramvay ya da otobüs alma) önererek hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlarlar hem de trafik yoğunluğunun azalmasına katkıda bulunurlar.

Ulaşım sistemleri ile ilgili yapılacak bir çalışmada demiryolları, karayolları, yaya ve bisiklet yolları, nehir / deniz yolları ve hava yollarına bir bütün olarak bakmak gerekmektedir. Her ağ diğerlerine transfer terminalleri (otobüs / tren istasyonları, limanlar, havaalanları) aracılığıyla bağlanır. Bugün, bu ağlar üzerinden hem yük hem de yolcu için iki tür hizmet vardır. Bu hizmetlerden ilki talebe bağlı hizmettir, örneğin taksi hizmeti. Kişisel araçların kullanımı da bu kategoride kabul edilmektedir. Talebe bağlı hizmet daha yüksek maliyetler ve çevresel etkiler pahasına daha fazla esneklik sunar. İkinci tip hizmet ise konsolide hizmetlerdir. Servisler düzenli sıklıkta planlanır, yük veya yolcu akışları ana merkezler aracılığıyla konsolide edilir. Her ne kadar bu hizmet türü talep üzerine planlanandan daha az esnek olsa da taşıt ve konteyner gibi ulaşım kaynaklarını daha iyi doldurma avantajına sahiptir. Böylece daha az kaynak israfı olur ve taşıma maliyetleri önemli ölçüde düşer.

Özet olarak AUS uygulamalarının geliştirilmesi disiplinler arası bir çalışma alanı olmakla birlikte sistemlerin tasarlanmasında, işletilmesinde, kontrolünde ve geliştirilmesinde Endüstri Mühendisleri için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Özellikle verilen servislerin optimizasyonunda ve kurulacak sistemlerin tasarım aşamasından başlanarak simüle edilmesi ve doğruluklarının kontrol edilmesinde önemli katkılar sunulabilir.

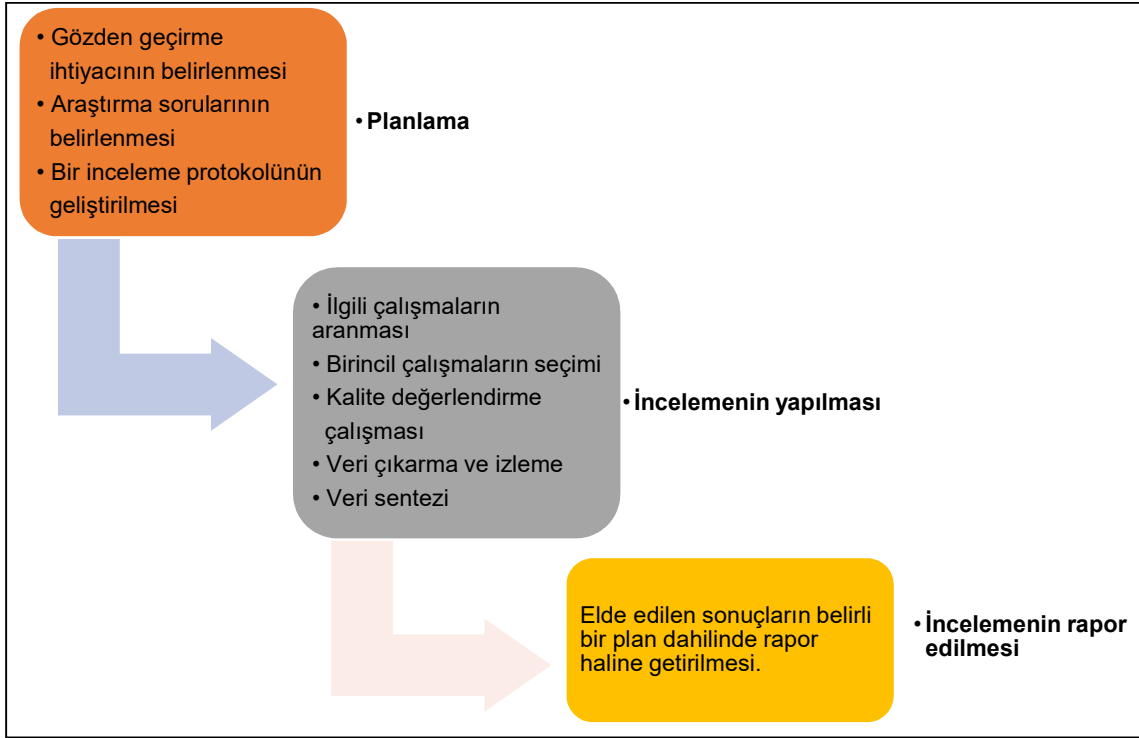
### 3. Kullanılan Metodoloji ve Çalışmanın Amacı

Her yıl çeşitli konularla ilgili olarak büyük miktarda araştırma yapılmakta ve bu araştırma sonuçlarında çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. Çalışmalar arasındaki bu farklılıklar yöntemden, hatalardan, ölçümden kaynaklanıyor olabilir. Bu gibi durumlarda, genel resmin ne olduğu, hangi sonuçların en güvenilir olduğu veya hangi sonuçların karar vericiler tarafından kullanılacağı tam olarak belli değildir (Siddaway, 2014).

Sistemik Derleme Metodolojisi, bir veya daha fazla araştırma sorusunu ele alan tüm ilgili, yüksek kaliteli bireysel çalışmaların bulgularını tanımlayarak, eleştirel bir şekilde değerlendirerek ve birleştirerek bu sorunları çözmeyi amaçlamaktadır (Bem, 1995; Cooper, 2003). Sistemik Derleme Metodolojisi, kendi başına bir araştırma çeşididir ve doğası gereği, spesifik çalışmaların yapabileceğinden çok daha geniş soruları ele alabilir ve farklı bulgular arasındaki bağlantıları açığa çıkarabilir (Baumeister ve Leary, 1997). Bu yönüyle sistemik derleme, diğer tüm araştırma tasarımlarının üstünde yer almaktadır ve en önemli pratik sonuçları sağlama potansiyeline sahiptir.

Sistemik derlemeler objektif, sistemik, şeffaf ve tekrarlanabilir olmakla karakterize edilir. Belirli bir araştırma sorusunu ele alan çalışmaları bulmak için sistemik bir arama sürecinin yanı sıra, bu araştırmanın sonuçlarının özelliklerinin ve bulgularının sistemik bir sunumunu ve sentezini içerir. Gözden geçirme ve dahil etme kriterleri objektif, açıkça belirtilmiş ve tutarlı bir şekilde uygulanmıştır; belirli çalışmaları dahil etme veya hariç tutma kararının okuyuculara açık olması ve aynı kriterleri kullanan başka bir araştırmacının da aynı kararı vermesi muhtemeldir. Sistemik bir gözden geçirmenin amaçlarına en iyi şekilde ulaşmak için bir avukattan ziyade bir hakim ve jürinin zihninin benimsenmesi tavsiye edilir (Baumeister, 2013). Bir yargıç ve jüri en adil kararı vermek için kanıtları şüpheyle değerlendirir. Buna karşılık, bir avukatın delillere yaklaşımı, savunduğu tarafın lehine subjektiftir.

Bu çalışmada kullanılan sistemik derleme metodolojisi aşamaları Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. Sistematik derleme metodolojisi aşamaları

Planlama aşamasında ilk olarak akıllı ulaşım sistemleri konusu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların incelenerek endüstri mühendisliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki araştırma soruları belirlenmiştir:

- AUS sistemleri nasıl tanımlanmaktadır? AUS kapsamında sunulan hizmet paketleri ve kullanıcı servisleri nelerdir?
- AUS sistemlerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak nasıl bir tarihsel süreç izlenmiştir?
- AUS sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan endüstri mühendisliği araçları nelerdir? Bu araçlar hangi amaçlarla kullanılmıştır?
- AUS tasarımında modelleme ve simülasyon araçları hangi amaçlarla kullanılmıştır? Bu amaçla geliştirilen uygulamalar nelerdir? Bu uygulamaların kullanım kapsamı nedir?
- AUS tasarımında optimizasyon uygulamaları nelerdir? Bu uygulamaların kullanım alanları nelerdir? Optimizasyon uygulamaları gelecekte hangi amaçlarla kullanılabilir?

Araştırma soruları belirlendikten sonra bir inceleme prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedüre göre öncelikli olarak her bir araştırma sorusu ile ilgili olarak hızlı bir literatür taraması yapılacak ve bulunan çalışmalar hızlı bir şekilde gözden geçirilerek gerekli ve önemli olan çalışmalar seçilecek diğer çalışmalar ise elenecektir. Daha sonra seçilen çalışmalar daha detaylı olarak incelenecek ve araştırma sorularına cevap verecek şekilde çalışmalar sınıflandırılacak ve mantıksal bir sıra dahilinde raporlama işlemine geçilecektir.

Bu makale, yazarlardan Ali Can Güven'in Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir. Çalışmada kullanılan bu yöntem tasarlanırken Araştırma ve Yayın Etiğine uyulmuştur. Makalede yapılan çalışma için herhangi bir yasal/özel izin gerekmemiştir.

#### 4. Çalışmanın Literatüre Katkısı

Kentsel trafik ağlarında tıkanıklık, ekonomiye olduğu kadar doğal çevreye de büyük bir tehdittir ve insan yaşamının kalitesi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Trafik sıkışıklığı, seyahat zamanlarını, kuyruk uzunluğunu, zararlı gaz emisyonlarını ve trafik ışıklarında boşa kalma sürelerini azaltmak için sert stratejiler gerekmektedir. Konvansiyonel trafik yönetimi çözümleri, esas olarak araçlar ile altyapı arasında kendi aralarında yeterli iletişim bulunmamasından dolayı birçok kısıtlamayla karşı karşıyadır. Özellikle son yıllarda trafik akışını ve güvenliğini artırmak için çeşitli araç otomasyon ve haberleşme sistemleri (Diakaki ve diğ., 2015) ve otonom araçlar ile ilgili büyük gelişmeler olmuştur (Butakov ve Ioannou, 2015).

Yukarıdaki gelişmeler bilgi ve iletişim teknolojilerini trafik yönetim sistemlerinin etkinliği için veya daha genel olarak AUS açısından önemli bir başarı faktörü haline getirmektedir. Etkili iletişim kullanımı sayesinde, tıkanıklık ve gaz emisyonları en aza indirgenebilir ve güvenlik önemli ölçüde iyileştirilebilir (Maimaris ve Papageorgiou, 2017).

Bu çalışma, AUS sistemleri ile ilgili şu ana kadar yapılmış olan araştırmaların sistematik derleme metodu ile incelenerek sınıflandırılmasını ve özellikle endüstri mühendisliği açısından bir değerlendirmesini sunmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalara baktığımızda, trafik yönetimi ve kontrolü ile ilgili AUS uygulamalarına yönelik birçok uygulama bulunmaktadır (Yang ve Bagrodia, 2009; Cobo, Chiclana ve Collop, 2014; Feteiha ve Hassanein, 2015). AUS sistemlerini geliştirilmesinde endüstri mühendisleri de önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle sistemlerin modellenmesi ve simüle edilmesinde ve karar değişkenlerinin optimizasyonunda endüstri mühendislerine olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Bu çalışmada hem modelleme ve simülasyon hem de optimizasyon ile ilgili olarak yapılan AUS çalışmaları gözden geçirilmiştir. Dolayısı ile araştırmacılar modelleme, simülasyon ve optimizasyonun AUS uygulamalarında kullanımı ile ilgili bilgi sahibi olacak ve yapılacak çalışmayı nerede konumlandıracaklarına karar verebileceklerdir.

#### 5. Akıllı Ulaşım Sistemleri Tasarımında Modelleme ve Simülasyon Teknikleri

Etkin ulaştırma sistemleri, her toplumda yaşam kalitesine önemli ölçüde katkıda bulunurken mal ve insanların verimli bir şekilde taşınmasını sağlar. Her ekonomik ve sosyal gelişmenin merkezinde, her zaman bir ulaşım sistemi vardır. Bu arada, artan araç sayısı, kentleşme, nüfus artışı ve nüfus yoğunluğundaki değişiklikler nedeniyle dünya genelinde trafik sıkışıklığı artmakta ve bu durum toplumların sosyal ve ekonomik refahını tehdit etmektedir. Trafik sıkışıklığı ulaştırma altyapısının kullanımını azaltır ve seyahat süresini, hava kirliliğini ve yakıt tüketimini artırır. Bu nedenle, ulaştırma sistemlerinin yönetimi ve kontrol edilmesi, insanlık için bir hayatta kalma ve refah meselesidir ve problemlerin çözümü her toplum için yüksek öncelikli bir görevdir.

Artan trafik kapasitesi talebini karşılamak amacı ile daha çok yol inşa edilmesinin, özellikle büyükşehir alanlarındaki yüksek maliyet ve / veya yeterli alan olmaması nedeniyle artık daha uygun bir çözüm olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, ek yollar inşa etmek için geçen süre ve bu durumun trafik ağının geri kalanına getirdiği aksaklık yeni yollar inşa edilmesinin önündeki en önemli engellerdir. Mevcut karayolu taşıma sistemi neredeyse açık döngüye sahipken, bu yollarda bulunan trafik ışıkları gecikmeleri azaltmak ve trafik akışlarını hızlandırmak için gerekli veriden halen daha yoksundur. Elektronik, iletişim, kontrol sistemleri, bilgisayarlar ve sensörlerdeki son gelişmeler, yeni karayolu sistemleri inşa etmek yerine mevcut altyapıyı etkin bir şekilde kullanmak için uygun ulaşım yönetimi politikaları ve stratejileri geliştirme fırsatı sunmaktadır. Teknolojilerin kullanılması, doğru trafik verileri sağlamaya, kontrol eylemlerini uygulamaya yardımcı olacak ve genel olarak günümüzün ulaşım ağlarında mevcut olan belirsizlik seviyesini azaltacaktır. Akıllı ulaşım sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, yerel ve küresel sistem düzeyinde trafik dinamiklerini ve buna bağlı olayların iyi bir şekilde anlaşılmasını gerektirecektir. Ek olarak, ulaştırma sistemi içindeki insan etkileşiminin anlaşılması da çok önemlidir (Abdel-rahim, 2012).

Ulaştırma sistemleri ve trafik olayları oldukça karmaşık dinamik problemler olup basitleştirilmiş matematiksel modeller bu problemlerin analizi için yeterli değildir. Ulaşım problemlerinde yer alan nedensellik, eşleşme, geri besleme döngüleri ve kaotik davranışları analiz etmek için daha gelişmiş yöntem ve modellere ihtiyaç vardır. Trafik modellemesi, günümüzün karmaşık ulaşım sistemlerinin etkili tasarımını ve kontrolünü kolaylaştırabilir. Matematiksel modeller trafik sistemlerinin yüksek karmaşıklığını ve dinamikliğini her zaman doğru bir şekilde yakalayamaz. Bu sebeple, bilgisayar simülasyon modelleri belirli bir trafik ağındaki trafik akışı özelliklerini tanımlamak için geliştirilmiş ve ayarlanmıştır. Bir bilgisayar simülasyon modeli gerçek veriler kullanılarak geliştirilip onaylandıktan sonra, gerçek

bir uygulama için teklif edilmeden önce farklı senaryolar ve yeni kontrol stratejileri geliştirilebilir, denenebilir ve değerlendirilebilir (Abdel-rahim, 2012).

Mikro ve makro seviyelerde trafik akış modellemesi, mevcut trafik simülasyon yazılımlarının incelemesinin yanı sıra çeşitli ulaştırma sistemi modlarını yönetmek ve kontrol etmek için çeşitli yöntemler, trafik akışı teorisi ve taşıma sistemlerinin modellenmesinde kullanılan mikro ve makro yöntemler, kütle korunum yasasına dayanan trafik akışı teorisi ile akış hızı ve yoğunluğu arasındaki ilişkiler, makro modeller, mikro modeller ve akıllı ulaşım sistemlerine ilişkin karmaşık trafik yazılımı modelleme araçları incelenilebilir (Güven, 2019).

## 6. Akıllı Ulaşım Sistemleri Tasarımında Optimizasyon

Sınırlı ekonomik ve fiziksel kaynaklarla hızlı bir şekilde büyüyen ulaşım altyapısı talebini karşılamak çoğu zaman mümkün değildir. Özellikle karayolu altyapısının genişlemesinin artan araç sayısına ayak uydurmadığı, dolayısıyla tıkanma ve gecikmelere neden olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, yeni yolların inşası için çaba göstermenin yanı sıra, yeni akıllı ulaşım yönetimi ve koordinasyon sistemlerinin geliştirilmesi de şarttır. Yeni bir tekniğin etkinliği, optimum kapasite kullanımıyla karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Bu karşılaştırma önemli iyileştirmelerin mümkün olduğunu gösteriyorsa, akıllı bir trafik sistemi geliştirmenin ve yaygınlaştırmanın maliyetini kabul haklı çıkarılabilir. Ayrıca, bir optimizasyon modeli geliştirmek, kapasite planlamasında da yardımcı olabilir. Örneğin, belirli bir talep seviyesinde, eğer optimum çözüm önemli ölçüde kötüleşirse, bu hiçbir akıllı stratejinin bu talebi karşılayamayacağı ve altyapının genişletilmesinin tek alternatif olacağı anlamına gelir.

Günümüzde ulaşım problemleri kompleks ve dinamik problemler olup bütün sistemin matematiksel olarak modellenmesi mümkün değildir. Bu mümkün olsa bile bu zor problemlerin çözülmesi çoğu zaman mümkün değildir. Ancak akıllı ulaşım sistemlerinin tasarlanmasında bütün sistemin optimize edilmesi yerine, sistemin sadece gerekli parçaları için optimizasyon yapılırsa sistemin verimliliğinde ciddi iyileştirmeler yapılması mümkündür. Bu bölümde AUS tasarımında kullanılan optimizasyon modelleri ile ilgili örnekler verilecektir.

Gallo, D'Acerno ve Montella sinyal Ayarlarının Global Optimizasyonu (SAGO) sorusunu ele almış ve çözümü için meta-sezgisel bir algoritma önermişlerdir (Gallo, D'Acerno ve Montella, 2014). Bir kentsel ağı tüm veya bazı sinyalli kavşaklarının sinyal ayarlarını optimize etme problemi topoloji ve bağlantı boyutlarının sabit olduğu varsayılarak ele alınmıştır. SAGO problemi, bir trafik ağının tüm (veya bazı) sinyal parametrelerinin ortak bir şekilde optimize edilmesi (örneğin toplam seyahat süresi gibi) durumunda ortaya çıkar. Bu problem literatürde farklı yerlerde geniş çapta incelenmiş ve çoğunlukla iniş yöntemlerine (descent method) dayanan çeşitli algoritmalar önerilmiştir. Bu algoritmalar, gerçek ölçekli problemler için yüksek hesaplama süreleri gerektirir ve amaç fonksiyonu neredeyse hiç dışbükey olmadığından, genellikle yerel optimum sonuç verir. Yüksek hesaplama süreleri, her bir iterasyonda hedef fonksiyonunu belirlemek için trafik ataması yapma ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, bu problemi çözmek için Muhtemel İniş Yönü Algoritmasına (Feasible Descent Direction Algorithm) dayanan bir çoklu başlangıç yöntemi önerilmektedir. Algoritma, yerel olarak optimal bir çözüm arayabilir ve herhangi bir iterasyonda daha düşük hesaplama süresi gerektirir. Önerilen algoritma, literatürde önerilen farklı atama algoritmaları kullanılarak, farklı talep seviyeleri altında gerçek ölçekli bir ağda test edilmiştir. İlk sonuçlar, önerilen algoritmaların iyi performans gösterdiğini ve hesaplama sürelerinin gerçek ölçekli ağlar için de planlama amaçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir.

Maia ve Couto yük ağı optimizasyon modelini geliştirmiştir (Maia ve Couto, 2014). Bu model, demiryolu ağlarının bölgesel ve ulusal düzeyde iyileştirilmesi için gerekli olan planlama ve politika kararları için bir destek aracı olarak geliştirilmiştir. Özellikle yük trafiği için tasarlanan, yüksek toplama seviyesine sahip makro ağları modellemek için tasarlanmış stratejik bir trafik atama modeline dayanmaktadır. Model karayolu ve demiryolu taşıma modlarını tasarlar ve iki farklı kargo tipini göz önünde bulundurur: genellikle konteynerlerde taşınan ve modlar arası aktarım terminallerde farklı modlar arasında kolayca değiştirilebilen çok modlu kargo; ve genel kargo (diğer kalan tüm kargoyu temsil eder). Optimizasyon süreci, makul bir hesaplama süresi içinde iyi çözümler sunan yerel arama sezgisel algoritmasına (local search heuristic) dayanmaktadır ve elde edilen çözümün kalitesi, genelleştirilmiş toplam maliyetlerin ve CO2 emisyonlarının miktarına bağlı olarak değerlendirilmektedir. Bu yük ağı optimizasyon modeli hem mevcut bağlantıların hem de yeni bağlantıların geliştirilmesine olanak sağlanmaktadır ve bu nedenle yenilikçidir.

Talebin düşük, değişken ve tahmin edilemez olması durumunda kaliteli bir toplu taşıma sisteminin kurulması oldukça pahalı olabilir. Talep Duyarlı Ulaştırma (TDU) sistemleri bu sorunları talebe göre değişebilecek rota sırası ve sıklığı ile çözmeye çalışmaktadır. Bu problemlerin tasarımı ve kullanımı çoklu kriterler içerir ve dolayısı ile geleneksel optimizasyon yöntemlerinin kullanımı mümkün değildir. Gomes, Sousa ve Galvão, TDU hizmetlerinin tasarlanmasına

ve işletilmesine yardımcı olmak, işletme maliyetlerini en aza indirmek ve hizmet kalitesini en üst düzeye çıkarmak için simülasyon ve optimizasyonu entegre eden yenilikçi bir Karar Destek Sistemi geliştirmişlerdir (Gomes, Sousa ve Galvão, 2014). Gerçek sorunlardan yola çıkılarak geliştirilen senaryolar ile önerilen yöntemin potansiyeli gösterilmiştir.

Frank-Wolfe algoritması, trafik atama problemini (TAP) çözmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Son on yılda, TAP'ın çözümü için yeni önerilerde bulunulmuştur. Bu algoritmaların, Frank-Wolfe algoritmasının elde ettiğinden çok daha iyi sonuçlar verdiği ve daha büyük ölçekli problemler için uygun olduğu gösterilmiştir. Trafik sayımlarına dayanan O / D matris ayarlama problemi, TAP'ın alt seviye olduğu iki seviyeli bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. TAP ve hesaplama maliyetinin yakınsaması kritik olabilir çünkü işlemin her aşamasında çözülecek TAP sayısı çok yüksektir. Reyes, Romero ve Benitez, O/D matris ayar probleminde yeni TAP yöntemlerinin sunduğu olanakları kullanmaktadır (Reyes, Romero ve Benitez, 2014). Önerilen yeni yöntemleri kullanarak orta ölçekli ağlarda sayısal örnekler sunulmuştur.

Sınırlı ekonomik ve fiziksel kaynaklarla, ulaşım altyapısını sürekli olarak genişletmek mümkün değildir. Bu, özellikle karayolu altyapısının genişlemesinin artan araç sayısına ayak uydurmadığı, dolayısıyla tıkanma ve gecikmelere neden olduğu trafik koordinasyon sistemleri için geçerlidir. Bu nedenle, yeni yolların inşası için çaba göstermenin yanı sıra, yeni akıllı ulaşım yönetimi ve koordinasyon sistemlerinin geliştirilmesi de şarttır. Yeni bir tekniğin etkinliği, optimum kapasite kullanımıyla karşılaştırılarak değerlendirilebilir. Bu karşılaştırma önemli iyileştirmelerin mümkün olduğunu gösteriyorsa, akıllı trafik sistemi geliştirmenin ve yaygınlaştırmanın maliyetini ortadan kaldırabilir. Ayrıca, bir optimizasyon modeli geliştirmek, kapasite planlamasında da yardımcı olabilir. Örneğin, belirli bir talep seviyesinde, eğer optimum çözüm önemli ölçüde kötüleşirse, bu hiçbir akıllı stratejinin bu talebi karşılayamayacağı ve altyapının genişletilmesinin tek alternatif olacağı anlamına gelir. Shah, Kumar, Bastani ve Yen, bu kavramları kesişen yol güzergâhlarında araçların planlanmasıyla ilgili bir örnek olay incelemesiyle göstermektedir (Shah ve diğ., 2011). Karma tam sayılı programlama modeli ve uzay-zaman ağı akış modeli olmak üzere iki optimizasyon modeli geliştirerek ve ikinci modelin esasen daha etkili olduğu gösterilmektedir. Dahası, problemin NP zor olduğunu göstererek problemi makul sürede çözmek için iki sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Daha sonra sezgisel çözümler uzay-zaman ağı modeli kullanılarak elde edilen optimum kapasite kullanımı ile karşılaştırılmış ve sonuç bölümünde yönetimsel çıkarımlar özetlenmiştir.

Dinamik sürüş paylaşımı sistemleri benzer güzergâhları ve zaman çizelgeleri olan kişileri kısa sürede bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu sistemler, kişisel seyahat için kullanılan araç sayısını azaltarak ve mevcut koltuk kapasitesinin kullanımını artırarak önemli sosyal ve çevresel faydalar sağlayabilir. Sürücülerini gerçek zamanlı olarak eşleştiren etkili ve verimli optimizasyon teknolojisi, başarılı bir dinamik sürüş paylaşım sistemi için gerekli bileşenlerden biridir. Agatz, Erera, Savelsbergh ve Wang sürüş paylaşımını desteklemek için yapılan çalışmalarda karşılaşılan optimizasyon zorlukları incelenmiş ve konu ile ilgili yapılan akademik çalışmalar incelenmiştir (Agatz ve diğ., 2012).

Yeni dinamik sürüş paylaşım sistemleri önemli ölçüde sosyal ve çevresel faydalar sağlama potansiyeline sahiptir. Sürücülerini gerçek zamanlı olarak en iyi şekilde eşleştiren algoritmaların geliştirilmesi, sürüş paylaşımı konseptinin temelini oluşturur. Bu çalışma dinamik sürüş paylaşımını tanımladıktan sonra dinamik sürüş paylaşımını desteklemek için teknoloji geliştirirken ortaya çıkan ilginç optimizasyon zorluklarının birçoğu vurgulanmış ve bu alandaki ilgili yöneylem araştırması modelleri incelenmiştir. Dinamik sürüş paylaşımındaki optimizasyon konularını ele almak için araştırmacıların artan bir ilgisinin olduğu, ancak bugüne kadarki belirli katkıların sayısının hala düşük olduğu tespit edilmiştir.

## 7. Sonuç

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ulaştırma konusunda en önemli sorunlardan biri olan trafik güvenliğine bir çözüm olarak gelişmiş ülkeler tarafından kullanılmaya başlanmış ve konu ile ilgili olarak bütün dünyada çok yoğun olarak çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Günümüzde AUS alanında A.B.D., Fransa, Britanya, Almanya, Güney Kore, Avustralya, Japonya, İsveç, Kanada, Hollanda ve Singapur gibi ülkelerin öncü olduğunu, Çin, Brezilya, Tayland ve Tayvan'da ise konu ile ilgili olarak önemli gelişmeler olduğu görülmektedir.

AUS araçlar arasında, araçlar ile ana kontrol merkezi arasında, araçlar ile altyapı arasında emniyet, güvenlik, durum vb. her türlü veriyi paylaşmak amacı ile kurulmuş entegre bir haberleşme sistemidir. AUS bir taraftan çevreye verilen zararları minimize etmeye çalışırken diğer taraftan da yolcuların, araç kullanıcılarının, işletmecilerin ve hükümetlerin

yarar fonksiyonlarını da maksimize etmeye çalışır. Dolayısı ile sistemin bütün paydaşlarının ortak olarak fayda sağladığı bir sistemin kurulması amaçlanır. AUS'un amaçları aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

- insan-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi,
- trafiğin güvenliliği,
- yolların kapasitelerine uygun olarak kullanımı,
- mobilitenin artırılması,
- enerji verimliliği sağlanarak çevreye verilen zararın azaltılması

AUS uygulamaları disiplinler arası bir çalışma sonucunda geliştirilir. Ancak sistemlerin tasarlanması, işletilmesi ve geliştirilmesinde Endüstri Mühendisliği açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Özellikle servislerin optimizasyonunda ve sistemlerin tasarım aşamasından başlanarak simüle edilmesi ve doğruluklarının kontrol edilmesinde önemli katkılar sunulabilir. Bu çalışmada AUS konusu Endüstri Mühendisliği bakış açısı ile değerlendirilmiş ve yapılan çalışmalar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada akıllı ulaşım sistemleri sistematik derleme metodolojisi kullanılarak endüstri mühendisliği açısından değerlendirilmiştir. Planlama aşamasında AUS ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelenerek endüstri mühendisliği açısından değerlendirilmiştir.

Çalışmada ilk olarak akıllı ulaşım sistemleri konusunun seçilmesindeki motivasyon ve konunun Endüstri Mühendisliği açısından önemi açıklanmış ve araştırma için kullanılan metodoloji, araştırmanın amaçları ve araştırma soruları verilmiştir. Yapılan çalışmanın literatüre olan katkısı anlatılmıştır. Akıllı ulaşım sistemleri tasarımında modelleme ve simülasyon tekniklerinin kullanımı ile ilgili araştırma sonuçları verilmiş ve akıllı ulaşım sistemleri tasarımında optimizasyon yaklaşımı ile ilgili yapılan çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir. Son olarak sonuç bölümünde yapılan çalışma özetlenmiştir.

### Araştırmacıların Katkısı

Yazarlardan Ali Can Güven, kaynakların taranması, derlenmesi ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamış; yazarlardan Barış Keçeci, konunun bulunması, çalışmanın yönlendirilmesi ve makalenin yazılması konusunda katkı sağlamıştır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederler.

### Kaynaklar

Abdel-rahim, A. (2012). *Intelligent Transportation Systems*, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia: InTech. Erişim adresi: <https://www.intechopen.com/books/intelligent-transportation-systems>

Agatz, N., Erera, A., Savelsbergh, M. & Wang, X. (2012). Optimization for dynamic ride-sharing: A review. *European Journal of Operational Research*, 223, 295–303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.05.028>

Baumeister, R. F., Ed. Prinstein, M. J. & Patterson, M. D. (2013). Writing a literature review. *In The portable mentor: Expert guide to a successful career in psychology*, New York: Springer Science+ Business Media, 119–132. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3994-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3994-3_8)

Baumeister, R. F. & Leary, M. R. (1997). Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology*, 3, 311–320. doi: <https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.3.311>

Bem, D. J. (1995). Writing a review article for Psychological Bulletin. *Psychological Bulletin*, 118(2), 172–177. doi: <https://doi.org/10.1037/0033-2909.118.2.172>

Butakov, V. & Ioannou, P. (2015). Driving Autopilot with Personalization Feature for Improved Safety and Comfort. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Proceedings, ITSC*, 387–393. Erişim adresi: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1109/ITSC.2015.72>



Carley, W. A. (1998). Railroads test satellite positioning in effort to improve safety, efficiency. *The Wall Street Journal Interactive Edition*, 29. Erişim adresi: <https://www.wsj.com/articles/SB899070642430704500>

Cobo, M. J., Chiclana, F., Collop, A., Ona, J. De & Herrera-Viedma, E. (2014). A bibliometric analysis of the intelligent transportation systems research based on science mapping. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 15(2), 901–908.

Erişim adresi:

[https://www.academia.edu/11344025/A\\_bibliometric\\_analysis\\_of\\_the\\_intelligent\\_transportation\\_systems\\_research\\_based\\_on\\_science\\_mapping](https://www.academia.edu/11344025/A_bibliometric_analysis_of_the_intelligent_transportation_systems_research_based_on_science_mapping)

Cooper, H. M. (2003). Psychological Bulletin: Editorial. *Psychological Bulletin*, 129(1), 3-9.

doi: <https://doi.org/10.1037/0033-2909.129.1.3>

Diakaki, C., Papageorgiou, M., Dinopoulou, V., Papamichail, I. & Malandraki, G. (2015). State-of-the-art and -practice review of public transport priority strategies. *IET Intel. Transport Syst.*, 9(4), 391–406.

Erişim adresi:

[https://www.researchgate.net/publication/270578176\\_State-of-the-art\\_and\\_-\\_practice\\_review\\_of\\_public\\_transport\\_priority\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/270578176_State-of-the-art_and_-_practice_review_of_public_transport_priority_strategies)

Feteiha, M. F. & Hassanein, H. S. (2015). Enabling cooperative relaying vanet clouds over LTE-A networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 64(4), 1468–1479.

Erişim adresi:

[https://www.researchgate.net/publication/275102558\\_Enabling\\_cooperative\\_relaying\\_VANET\\_clouds\\_over\\_LTE-A\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/275102558_Enabling_cooperative_relaying_VANET_clouds_over_LTE-A_networks)

Gallo, M., D’Acerno, L. & Montella, B. (2014). Global Optimisation of Signal Settings: Meta-Heuristic Algorithms for Solving Real-Scale Problems. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*, 177-193.

doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3_14)

Gomes, R., Sousa, J. P. & Galvão, T. (2014). An Integrated Approach for the Design of Demand Responsive Transportation Services. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*, 223-235.

doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3_17)

Güven, A. C. (2019). *Akıllı ulaşım sistemleri üzerine bir sistematik literatür taraması* (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, YÖK tez veri tabanından erişildi. Tez No. 594642

Maia, L. C. & Couto, A. F. (2014). A Rail Network Optimization Model Designed for Freight Traffic. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*, 209-222. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3_16)

Maimaris, A. & Papageorgiou, G. (2017). A Review of Intelligent Transportation Systems from a Communications Technology Perspective. *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 19, At Rio de Janeiro, Brazil.

Erişim adresi:

[https://www.researchgate.net/publication/310624707\\_A\\_Review\\_of\\_Intelligent\\_Transportation\\_Systems\\_from\\_a\\_Communications\\_Technology\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/310624707_A_Review_of_Intelligent_Transportation_Systems_from_a_Communications_Technology_Perspective)

Reyes, A., Romero, L. M. & Benitez, F. G. (2014). Bilevel O/D Matrix Adjustment Formulation Using High Convergence Assignment Methods. In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*, 251-261. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04630-3_19)

Shah, N., Kumar, S., Bastani, F. & Yen I. L. (2011). Optimization models for assessing the peak capacity utilization of intelligent transportation systems. *European Journal of Operational Research*, 216, 239–25.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.032>

Siddaway, A. (2014). What is a systematic literature review and how do I do one. University of Stirling, I:1.

Erişim adresi:

<https://www.stir.ac.uk/media/schools/management/documents/centregradresearch/How%20to%20do%20a%20systematic%20literature%20review%20and%20meta-analysis.pdf>

Yang, Y. & Bagrodia, R. (2009). Evaluation of VANET based advanced intelligent transportation systems. *Vehicular InterNetworking VANET*, Sixth ACM international workshop, 3-12.  
doi: <https://doi.org/10.1145/1614269.1614273>