

Toplu Taşıma Sisteminin Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Optimizasyon Çalışmaları: Sakarya İli İçin Örnek Bir Uygulama

*¹Serkan Karaca, ²Hakan Güler

*¹Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

²Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya

Özet:

Dünya genelinde özellikle kent merkezlerinde araç sahipliğinin artmasıyla birlikte çevre sorunları da artmaya başlamıştır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için tekrar toplu taşın sistemlerinin etkinliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. İnsanların özel araçlarını kullanmadan yolculuklarını yapabilmeleri için toplu taşıma seçenekleri artırılmaktadır. Bir taraftan da toplu taşım sisteminin iyi bir şekilde planlaması yapılarak verimliliği artırılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada etkin ve verimli bir toplu taşıma sisteminin oluşturulmasına yönelik Sakarya ili ölçeğinde bir çalışma yapılmıştır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde bulunan yol ağları, toplu taşıma güzergâhları ve seferler Visum ulaşım planlama programı ortamına aktarılmıştır. Visum programında ulaşım planlama teknikleri kullanılarak toplu taşıma güzergâhlarında taşınan yolcu miktarları hesaplanmıştır. Toplu taşın araç hızları, duraklarda bekleme süreleri ve araç türleri gibi önemli parametreler değiştirilerek bir optimizasyon çalışması yapılmış ve Sakarya'da toplu taşıma sisteminin verimliliği artırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar değerlendirilerek Sakarya'nın toplu taşıma sisteminin geliştirilmesine yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toplu taşıma, Ulaşım planlaması, Optimizasyon ve Verimlilik

Optimisation Studies to Increase The Efficiency of Public Transport System: A Study Case of Sakarya Province

*¹Serkan Karaca, ²Hakan Güler

*¹Sakarya University, Institute of Natural Sciences, Sakarya

²Sakarya University Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Sakarya

Abstract:

Environmental problems especially in city centers arised by automobile ownership in the world. Efforts to increase the efficiency of the public transport systems have been performed, in order to overcome these issues. Public transportation options and efficiency must be improved by making good planning so that people can travel without using private vehicles. In this paper, a study was carried out in the province of Sakarya to create an efficient and effective public transportation system. The road networks, public transportation routes and trips within the boundaries of the Sakarya Metropolitan Municipality were transferred to the Visum transportation planning software. The amount of passengers carried on public transport routes was calculated by Visum software with using transportation planning methods. An optimization study was carried out by changing important parameters such as the speed of public transportation vehicles, waiting times at stops and vehicle types, and the efficiency of the public transportation system was tried to be increased in Sakarya. Furthermore, by evaluating the results obtained, solutions for the development of Sakarya's public transport system have been proposed.

Key words: Public transport, transportation planning, optimisation and efficiency

1. Giriş:

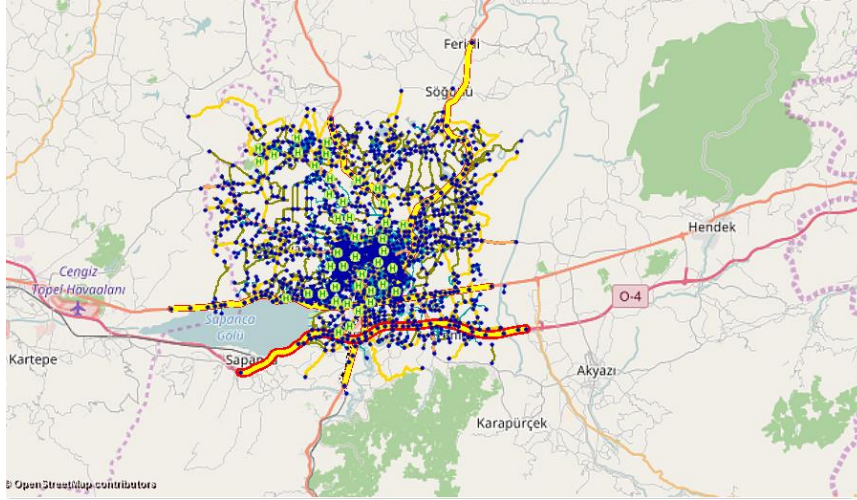
Başlangıçta toplu taşıma ile gerçekleştirilen ulaşım hizmetleri, otomobilin keşfi ve otomobil teknolojisindeki hızlı gelişme ile ulaşımın otomobillerle çözüleceği inancını güçlendirmişti. Özellikle gelişmiş ve zengin ülkelerde sürekli olarak yollar yapılmakta, özel araç sahipliği özendirilmekte ve toplu taşıma sistemlerinin etkinliği azaltılmaktaydı. Otomobillerin sayısı 1907 yılında 250 bin iken, Ford Model T'nin ortaya çıkışıyla 500 bine ulaşmış, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra bu rakam 50 milyonun üzerine çıkmıştır. Günümüzde ise yılda 70 milyonun üzerinde otomobil üretilmektedir. Ancak otomobil sahipliği ile birlikte çevre sorunları da artmaya başlamıştır [1]. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için tekrar toplu taşın sistemlerinin etkinliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmada toplu taşın sisteminin iyileştirilmesine yönelik olarak Sakarya ili için örnek bir uygulama yapılmıştır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde bulunan yol ağları, toplu taşıma güzergâhları ve seferler Visum ulaşım planlama programı ortamına aktarılmış ve analizler yapılmıştır.

Sakarya ilinde; şehrin gelişmeye devam etmesi, üniversite kontenjanlarının artırılması ve yeni iş imkânlarının ortaya çıkması şehrin nüfusunda hızlı bir artışa sebep olmuştur. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 2016 yılı Sakarya ili nüfusu 976.948'dir. Sakarya ilçeleri arasında en kalabalık nüfus 274.898 kişi ile Adapazarı ve 128.121 kişi ile Serdivan'dır [2].

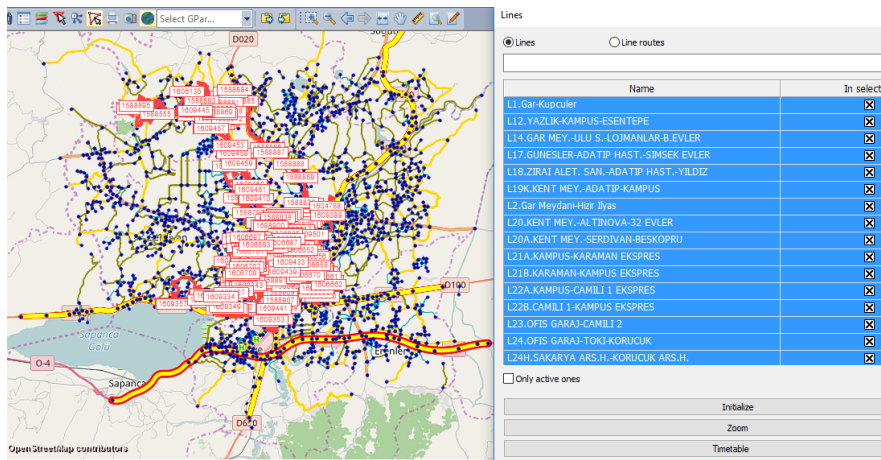
Nüfus artışı, il merkezi ve Serdivan gibi bölgelerde nüfusu daha da yoğunlaştırırken, nüfusun bir kısmının yeni yerleşim yerleri olan kampüs çevresi ve şehrin genişlemesi sonucu oluşturulan Korucuk, Camili ve Karaman bölgelerine yerleşmesine neden olmuştur. Belli bölgelerde yoğunlaşan nüfus ve yeni yerleşim yerlerinin ulaşımını sağlama ihtiyacı, şehrin ulaşım planının güncellenmesini zorunlu kılmıştır. Şehir merkezi ve Serdivan'daki yoğun trafik ve Karaman-Camili-Korucuk gibi merkeze uzak yeni yerleşim yerlerinin ulaşımı için toplu taşıma kullanılması önemlidir. 2016 yılı verilerine göre Sakarya iline kayıtlı toplam otomobil sayısı 133.944'tür [2]. Özel araç sahipliği azaltılıp toplu taşıma cazip hale getirilerek, şehirde trafik yoğunluğunun azaltılması, şehrin daha güvenli hale gelmesi, emisyon gazı salınımının azaltılması ve yakıt tasarrufu sağlanabilir. Bu çalışmada, Sakarya merkez ve çevresindeki semtlerin ulaşım modeli oluşturulmuş, sonra ulaşım planlama teknikleri kullanılarak, şehrin en yoğun kullanılan toplu taşıma modu olan otobüsler incelenmiş, otobüs sisteminin optimizasyonuna yönelik öneriler verilmiştir.

2. Ulaşım ağının Visum yazılımında modellenmesi

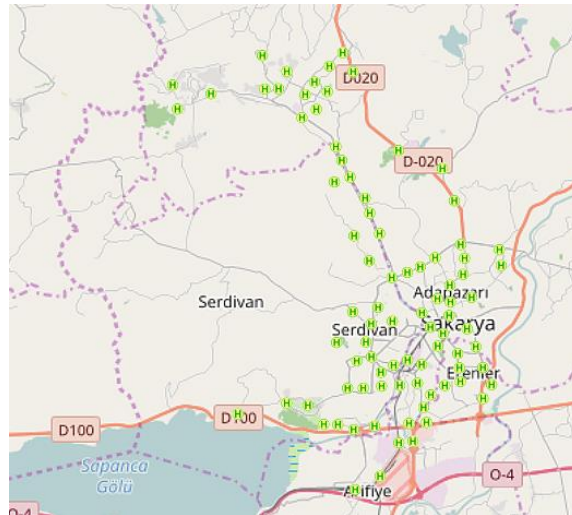
Sakarya ili toplu taşın sisteminde planlama çalışmaları yapmak için Sakarya ili merkez bölgesinin ulaşım ağı bir ulaşım planlama yazılımı olan Visum programı ortamına aktarılmıştır. Ulaşım ağı oluşturulurken yol tipleri (Sokak, cadde, çevre yolu vb.), yolun fiziksel özellikleri (Şerit genişliği, şerit sayısı, yön durumu vb.) ve yolun işletme özellikleri (Maksimum hızlar, hangi araçların kullanabileceği vb.) gibi önemli özellikler de programda tanımlanmıştır. Şekil 1'de Visum ortamına aktarılan Sakarya ulaşım ağı görülmektedir. Mevcut toplu taşıma sistemin değerlendirilmesi ve analizlerin yapılması için Sakarya Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan elde edilen Sakarya Büyükşehir Belediyesi sorumluluğunda bulunan toplam 28 güzergâh Visum programı toplu taşıma modülünde oluşturulmuştur. Otobüs güzergâhları yanında toplam 329 otobüs durağı da Visum programında tanımlanmıştır [3]. Şekil 3'de belediye otobüslerine ait otobüs durakları görülmektedir. Otobüs duraklarının bir kısmı Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan elde edilmiş bir kısmı ise belediye otobüslerinde seyahatler yapılarak belirlenmiş ve durak koordinatları GPS cihazı ile kaydedilmiştir.



Şekil 1. Sakarya ili merkez bölgesi ulaşım ağı



Şekil 2. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs güzergâhları

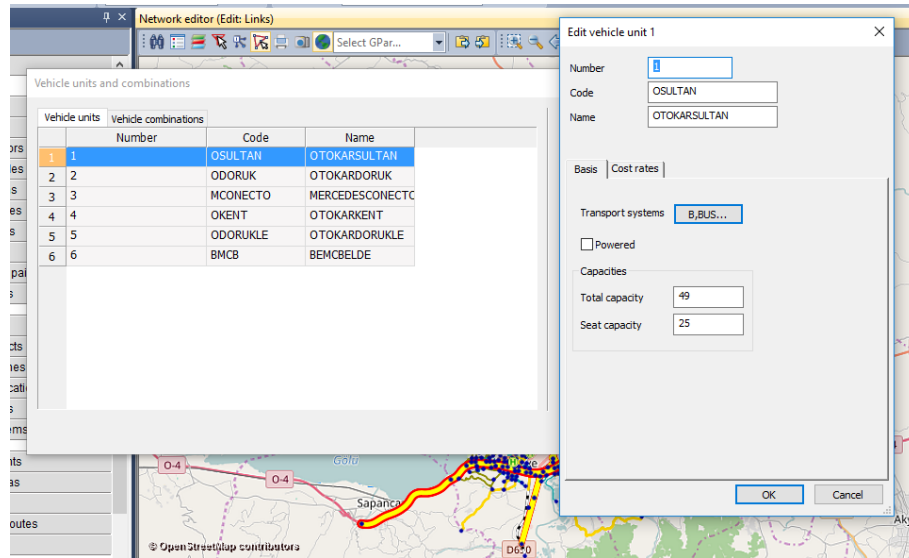


Şekil 3. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs durakları

Toplu taşıma güzergâhlarında yolculuk analizlerinin yapılabilmesi için, belediyeye ait toplu taşıma güzergâhlarında çalışan otobüslerin fiziksel özellikleri ve yolcu taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Belirlenen bu özellikler Visum programına aktarılmıştır. Visum ortamında oluşturulan otobüs özellikleri Şekil 4’te gösterilmiştir [3].

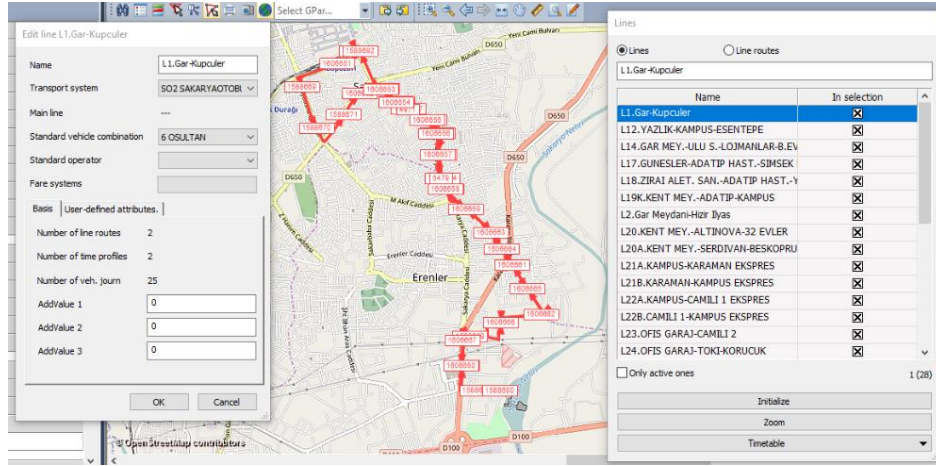
Tablo 1. Sakarya Büyükşehir Belediyesi güzergâhlarında çalışan otobüslerin özellikleri

	Marka	Yıl	Model	Adet	Tipi	Yolcu Sayısı (Oturan + Ayakta)
1	Mercedes	2012	Conecto	4	Körüklü (18 m)	148
2	Mercedes	2011	Conecto	2	Körüklü (18 m)	148
3	Otokar	2012	Kent	8	Solo (12 m)	103
4	Otokar	2011	Kent	8	Solo (12 m)	103
5	BMC	2007	Belde 280-CB	6	Solo (12 m)	101
6	BMC	2004	Belde 260-CB	3	Solo (12 m)	101
7	Otokar	2015	Doruk LE	11	Midi (10 m)	75
8	Otokar	2012	Doruk	12	Midi (9 m)	57
9	Otokar	2011	Doruk	6	Midi (9 m)	57
10	Otokar	2010	Doruk	20	Midi (9 m)	57
11	Otokar	2015	Sultan	10	Midi (7,7 m)	49
12	Otokar	2013	Sultan	1	Midi (7,7 m)	49
TOPLAM:						91

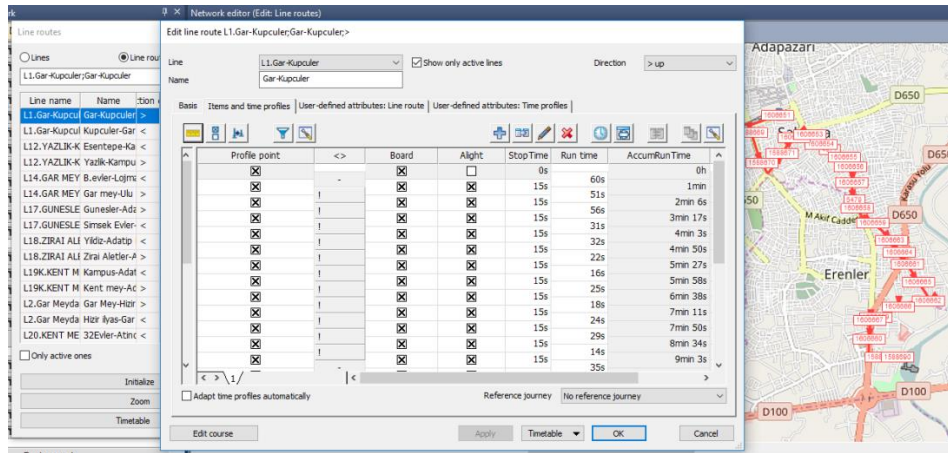
**Şekil 4.** Visum yazılımında otobüs özelliklerinin tanımlanması

Her bir güzergâhta otobüslerle taşınabilecek yolculuk miktarlarının hesaplanabilmesi için güzergâhlarda çalışan otobüs türleri belirlenmiş ve bu otobüsler güzergâhlarla ilişkilendirilmiştir. Şekil 5'te örnek olarak Gar-Küpçüler güzergâhında çalışan otobüslerin Visum programında tanımlanması görülmektedir.

Ayrıca Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nin otobüs hareket cetvelleri dikkate alınarak her bir güzergâh üzerinde otobüslerin ortalama hızları belirlenmiş ve güzergâhlarda seyahat süreleri hesaplanmıştır. Belediye otobüslerinde seyahat edilmiş, otobüsler duraklarda durduğu zaman otobüslerin içinden otobüslerin durakta bekleme süresi kronometre tutularak hesaplanmıştır. Otobüslerinin duraklarda yolcu biniş ve inişleri için ortalama olarak 15 saniye beledikleri tespit edilmiştir. Şekil 6'da örnek olarak Gar-Küpçüler otobüs güzergâhında çalışan otobüslerin duraklarda bekleme süresi ve duraklar arası seyahat süreleri görülmektedir.



Şekil 5. Her bir güzergâhta çalışan otobüslerin Visum yazılımına aktarılması



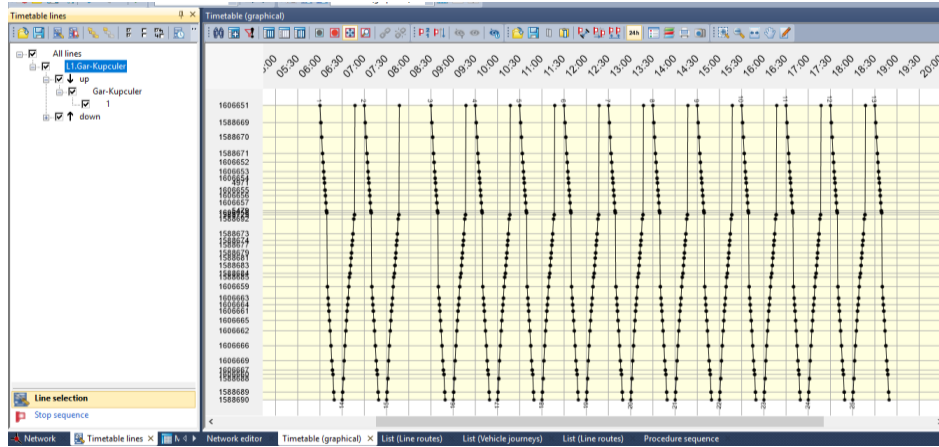
Şekil 6. Gar-Küpçüler otobüs güzergâhında çalışan otobüslerin duraklarda bekleme süresi ve duraklar arası seyahat süreleri

Belediye otobüslerinin duraklardan kalkış ve son durağa varış saatleri Büyükşehir Belediyesi'nden elde edilmiştir. Araçların kalkış-varış saatleri ve duraklarda bekleme süreleri dikkate alınarak güzergâhlarda ortalama işletme hızı iterasyon yapılarak hesaplanmıştır. Güzergâhların vektör haritaları, Google haritaları esas alınarak oluşturulmuştur. Güzergâh uzunlukları da Büyükşehir Belediyesi'nden de kontrol edilerek Visum yazılımına aktarılmıştır(Şekil 7)[3]. İşletme hızı, duraklarda bekleme süresi ve duraklar arası uzunluk belirlenmiş olduğundan, duraklar arası seyahat süresini hesaplamak mümkündür.

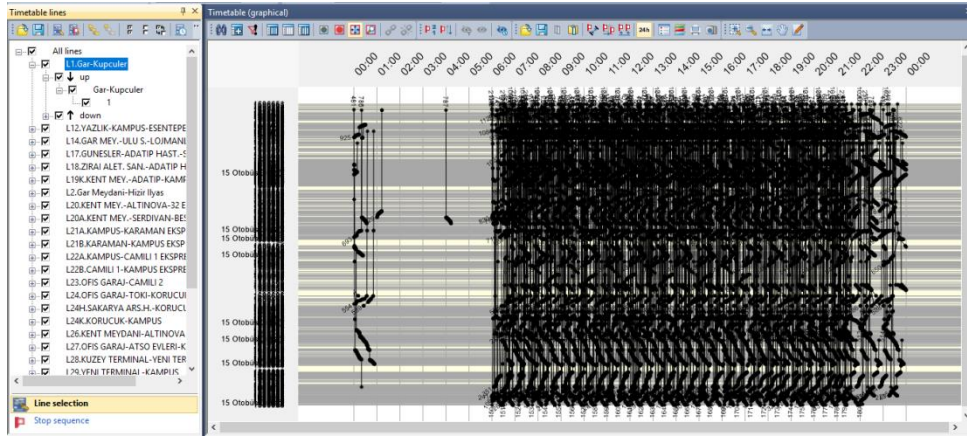
OtbNo	OtbCode	OtbName	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep	Aer / Dep
1588728													
1588769													
136													
1609353													
1													
1588669			06:31:15		07:31:15		09:01:15		10:01:15		11:01:15		
1588670			06:32:21		07:32:21		09:02:21		10:02:21		11:02:21		
1588894													
1588871			06:33:32		07:33:32		09:03:32		10:03:32		11:03:32		
1606652			06:34:18		07:34:18		09:04:18		10:04:18		11:04:18		
1606653			06:35:05		07:35:05		09:05:05		10:05:05		11:05:05		
1606654			06:35:42		07:35:42		09:05:42		10:05:42		11:05:42		
4971			06:36:13		07:36:13		09:06:13		10:06:13		11:06:13		
1606655			06:36:53		07:36:53		09:06:53		10:06:53		11:06:53		
1606656			06:37:26		07:37:26		09:07:26		10:07:26		11:07:26		
1606657			06:38:05		07:38:05		09:08:05		10:08:05		11:08:05		
5479			06:38:49		07:38:49		09:08:49		10:08:49		11:08:49		
1606658			06:39:18		07:39:18		09:09:18		10:09:18		11:09:18		
1606659													
1606675													
1606674													
1606673													
1588760													

Şekil 7. Gar-Küpçüler otobüs güzergâhında çalışan otobüslerin hareket saatleri tablosu

Şekil 7’de örnek olarak gösterilen Gar-Küpçüler arasında çalışan otobüslerin gün içindeki hareket saatleri tablosu, Şekil 8’de Orer olarak ifade edilen konum-zaman grafiği olarak gösterilmiştir. Şekil 9’da ise tüm güzergâhlarda gün içinde çalışan otobüslerin Orer grafikleri görülmektedir.



Şekil 8. Gar-Küpçüler otobüs güzergâhında çalışan otobüslerin Orer grafiği



Şekil 9. Toplu taşıma güzergâhlarında çalışan tüm otobüslerin Orer grafiği

3. Visum Yazılımı Analiz Sonuçları

Yukarıda verilen temel veriler kullanılarak Visum programında atama analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada toplu taşıma sistemi için bir analiz yapıldığından “Sefer Esaslı Atama Modeli” ile atamalar yapılmıştır. “Sefer Esaslı Atama Modeli” ile ilgili ayrıntılı bilgi PTV Visum 14 Manual sayfa 447-543’te bulunmaktadır[4]. Atama analizi sonuçları Şekil 10’da gösterilmiştir. Yeşil kalın çizgiler mevcut durumda otobüs hatlarında gün boyu taşınabilecek yolculuk sayılarını göstermektedir. Çizgi kalınlıkları taşınan yolcu sayısına göre değişiklik göstermektedir. Grafik olarak güzergâhları değerlendirmek ve en fazla ya da en az yolcu taşınan kesimleri(Duraklar arası yol kesimleri) görmek mümkündür [5].

arası kesimin kampüs içinde olduğu ve günde 64.688 yolcu taşınabileceği tespit edilmiştir. Yine en fazla yolcunun taşınabileceği durakların kampüse ulaşan güzergâhlar olduğu belirlenmiştir. Adapazarı kent merkezinde ise günde 62.000 yolcunun taşınabileceği belirlenmiştir. Sakarya'da belediye otobüslerinin doluluk oranlarının belirlenmesi için arazi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda doruk saatlerde (sabah ve akşam) otobüslerin ortalama %100 dolulukta çalıştığı, gün içinde ise ortalama %65 dolaylarında bir doluluk oranına sahip olduğu gözlenmiştir. Ortalamada ise bu oranın yaklaşık %85 dolaylarında olduğu hesaplanmıştır. Ortalama doluluk oranı dikkate alındığında Sakarya'da belediye otobüsleri ile günde 162.039 yolcu taşınmaktadır. Sakarya'da belediye otobüsleri ise yılda yaklaşık 59.144.199 yolcu taşındığı hesaplanmıştır.

4. Öneriler

Sakarya'da en fazla araç-km değerinin L21 A Kampüs-Karaman güzergâhı olduğu belirlenmiştir. Karaman'dan kampüse araçlar günde 949,19 km, kampüsten Karaman'a ise günde 940,35 km yapmaktadırlar. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüsleri, günde toplam 18.123,35 araç-km yapmaktadır. Araç-km değerleri kullanılarak yakıt maliyet hesaplarını yapmak mümkündür. Otobüs işletmesinde yapılacak iyileştirmelerle (Ölü kilometrelerin minimize edilmesi, garaj ve depoların uygun bölgelere konulması vb.) araç işletme maliyetlerini düşürmek mümkündür.

Durakların, kent merkezinde çok yoğun olduğu ancak Korucuk, Karaman ve Camili koridorlarında ise durakların seyrek olduğu tespit edilmiştir. Bu koridor boyunca yeni yerleşim bölgelerinin artması durumunda araç durak sayısı artacaktır. Durak sayısının artmasıyla birlikte daha fazla bölgeye toplu taşın hizmeti sağlanırken seyahat süreleri uzayacaktır. Seyahat sürelerinin artması yeni otobüs alımlarını gerektirecektir. Gerek durak sayısı ve gerekse alınacak otobüs türlerinin belirlenmesi için Visum ortamında hazırlanmış olan mevcut planlama sistemini kullanarak analizler yapmak ve doğru kararlar vermek mümkündür.

Sakarya'da merkez ve kampüs arasındaki toplu taşıma güzergâhlarında özellikle doruk saatlerde (sabah ve akşam) kampüs yönüne doğru belediye otobüslerinin %100'ün üzerinde bir dolulukta çalıştığı ancak dönüşlerinde ise doluluğun %20 civarında olduğu gözlemler sonucu tespit edilmiştir. Dönüş güzergâhları değiştirilerek doluluk oranı artırılabilir. Bu amaçla olası güzergâhlar belirlenerek güzergâhların hizmet vereceği bölgeler arasında yolculuk matrislerinin belirlenmesi gerekmektedir. Visum ortamında hazırlanmış olan mevcut planlama sistemini kullanarak bölgeler arası yolculuk matrislerini girmek ve atama analizleri yapmak mümkündür. Merkez üniversite kampüsü kavramının çeşitli avantajlarının olmasına karşın toplu taşıma açısından dezavantajları bulunmaktadır. Sakarya Üniversitesi merkez kampüsünün, nüfus yoğunluğunun artırılmamasına yönelik çalışmaların yapılması toplu taşıma hizmetlerini kolaylaştıracaktır.

Mevcut durumda duraklarda bekleme süresini azaltarak seyahat süresini kısaltmak mümkündür. Bu amaçla, otobüs duraklarının geometrik yapısının uygun olması ve otobüs duraklarına özel araç park edilmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Ayrıca teknoloji kullanılarak belediye otobüslerine yol ağlarında öncelik sağlamak ve duraklarda yolcu bilgilendirme sistemleri sayesinde otobüslerin hızları hakkında bilgi verilerek duraklarda bekleme süreleri azaltılabilir.

Güzergâhların yol geometrik yapısına uygun olan otobüslerin güzergâhlarda hizmet vermesini sağlamak mümkündür. Bu çalışmada kapasitesi yüksek ya da az olan araçlar ile ilgili güzergâhlara atanarak mevcut sefer tarifesi ile günlük taşınan yolculuk sayıları % 60 oranında artırılabilmiştir. Gelecekte bölgeler arasında yolculukların artması durumunda bu talebi karşılayacak uygun otobüslerin alınması gerekmektedir. Visum ortamında hazırlanmış olan mevcut planlama sistemini kullanarak güzergâhlara uygun otobüslerin belirlenmesi mümkündür.

Mevcut modeli kullanarak güzergâhlardaki durak sayısını artırmak ya da azaltmak mümkündür. Ayrıca gelecekte bulunması muhtemel cazibe merkezlerine göre her bir güzergâhta otobüs sefer saatlerini düzenlemek ve otomatik olarak taşınabilecek yolculuk sayısını hesaplamak mümkündür.

Araç işletme maliyetlerinin kilometre ölçeğinde bilinmesi halinde mevcut durumda ve gelecek ile ilgili senaryolarda güzergâh başına gerçekleştirilecek maliyetleri hesaplamak ve çevreye salınan emisyon gazı miktarını bulmak mümkündür.

5. Sonuç

Bu çalışmada, Sakarya Belediyesi tarafından işletmesi gerçekleştirilen toplu taşın sistemi Visum yazılımında oluşturulmuştur. Otobüs güzergâhları, otobüs modelleri ve duraklar programa aktarılmıştır. Otobüslerin ortalama hızları belirlenmiş ve güzergâhlarda seyahat süreleri duraklar arası seyahat süreleri ile birlikte hesaplanmıştır.

Gün boyu otobüslerle taşınan toplam yolcu sayısı, servis yapan otobüs sayısı, güzergâhlarda en fazla ne kadar yolcu taşınabileceği belirlenmiştir. Mevcut yol ve durakların geometrik yapısına uygun, güzergâhlarda taşınan yolcu sayılarına göre araç seçiminin önemi vurgulanmış ve öneriler bölümünde Sakarya’da toplu taşın sisteminin performansının artırılmasına yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Ayrıca oluşturulan toplu taşıma modeli ile; yakıt maliyeti, emisyon gazı salınımı gibi parametreler hesaplanıp, farklı otobüs modelleri, gelecekte oluşabilecek çekim merkezleri değişkenleri girilerek toplu taşıma ağını istenilen şekilde düzenlemek mümkündür. Visum programında yolculuk dağılımı, türel dağılım ve atama analizleri yapılabilir. Veriler üzerinde istatistik analizler yaparak değerlendirmeler yapıp, sonuçlar CBS özelliği ile görselleştirilebilir. Ayrıntılı bilgiler PTV Visum 14 Manual’da bulunmaktadır.

Sakarya ili belediye araçları toplu taşıma sistemi için yapılan bu örnek çalışmada ulaşım planlama sistemleri teknikleri ve bu teknikleri kullanan güçlü yazılımlarla toplu taşımının veriminin artırılmasına yönelik neler yapılabileceği özetlenmiştir. Güçlü bir toplu taşıma sistemine sahip olmak özel araç kullanımını azaltacak ve şehir yaşamının kalitesini artıracaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada bana destek sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Hakan Güler’e teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Guler H, Arslan O. “Operational Planning and Optimization Systems in Public Transport Operators”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, TRANSIST 2015, 2016, 7 (1), 67-68.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). <https://www.tuik.gov.tr>, 30.06.2017.
- [3] Sakarya Büyükşehir Belediyesi. *Toplu Taşıma Verileri*, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı, Sakarya, 2017.
- [4] PTV Visum 14 Manual, p. 447-543
- [5] Borndörfer, R., Arslan, O. Elijazyfer, Z., Güler, H., Renken, M., Sahin, G. ve Schlechte, T. "Line Planning on Path Networks with Application to the Istanbul Metrobüs", The proceedings of the yearly German OR conference, 2016, Berlin, Germany.