



Kentsel Raylı Sistem Planlamasında Risk Faktörleri: İstanbul Örneği

*

Fikret Zorlu¹

ORCID: 0000-0002-9243-1398

Elif Kızılay²

ORCID: 0000-0001-9302-7779

Öz

Literatürde raylı sistemlerin yapım ve işletme aşamalarına yönelik riskleri inceleyen çalışma sayısı sınırlı olmakla beraber özellikle 2019-2021 döneminde yaşanan COVID-19 salgını nedeniyle bu sorunun önemi daha fazla kavranmış ve bu yöndeki çalışmalar hızla artmıştır. Bu çalışmada risk analizi COVID-19 ile sınırlı tutulmamış raylı sistem yatırımlarının barındırdığı çeşitli riskler araştırılmıştır. İstanbul kenti çok sayıda ve farklı kapasitelerde raylı sistemine sahip olması nedeniyle örnek alan olarak incelenmiştir. Çalışmada raylı sistemlerin planlanması aşamasında öngörülen yatırım planı, finansman, yapım, yolcu sayısı öngörülerinin ne düzeyde gerçekleştiği, yanılmaları etkileyen risk faktörlerinin neler olduğu önce-sonra yöntemiyle araştırılmıştır. Araştırma bulguları İstanbul'da raylı sistemlerde yolcu talebinin pandemiden önce dahi tahminlerin altında kaldığını göstermektedir. Yolcu talebi tahminindeki sapmalar maliyeti karşılama süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu sorunun kaynağı daha çok ulaşım ana planlarının dayanağı ve girdisi olan arazi kullanımı, nüfus ve demografik girdileri ile ilgilidir. İkinci grupta yapımın gecikmesi, maliyetlerin artması ve gelirlerdeki azalmaya neden olabilen riskler yer almaktadır. Üçüncü grupta yer alan riskler ise pandemi ve benzeri koşullarda hareketliliğin kısıtlanması nedeniyle ortaya çıkabilmektedir, İşletme aşamasında karşılaşılabilecek kaza ve arızalar ise son risk grubunu oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Raylı sistemler, risk analizi, İstanbul, kentsel ulaşım.

¹ Doç. Dr. Fikret Zorlu, Mersin Üniversitesi, E-mail: fikretzorlu@yahoo.com

² Elif Kızılay, Mersin Üniversitesi, E-mail: kizilayelif76@gmail.com



Risk Factors in Urban Rail Transit Planning: İstanbul Case

*

Fikret Zorlu³

ORCID: 0000-0002-9243-1398

Elif Kızılay⁴

ORCID: 0000-0001-9302-7779

Abstract

In the literature there are limited studies dealing with risks in urban rail transit investments. Recently, due to the COVID-19 epidemic in the 2019-2021 period scholars paid more attention to the risk factors and their adverse impacts on urban transit systems. In this study, besides COVID-19, various risks factors in rail transit investments are investigated in Istanbul metropolitan city, the first ranking city in Turkey in terms of transit investments. This research employed before-after analysis in order to find inaccuracies and failures at planning, investment and management of transit systems. Research findings reveal that even before the pandemic (2020), passenger demand for rail transit was below predicted figures. Inaccuracies in estimation of passenger demand, which result in prolonging cost recovery period, is mostly related to land use, population and demographic inputs of the transport master plans. In the second group, there are risks that may cause delay in construction, increase in costs and decrease in revenues. The risks in the third group may arise due to the restriction of mobility in pandemic and similar conditions. The last risk group is the accidents and malfunctions that may be encountered during the operation phase.

Keywords: Rail transit, risk assessment, İstanbul, urban transportation.

³ Assoc. Prof. Dr. Fikret Zorlu, Mersin University, E-mail: fikretzorlu@yahoo.com

⁴ Elif Kızılay, Mersin University, E-mail: kizilayelif76@gmail.com

Giriş

Kent içi ulaşım sorunlarını azaltmak ve sürdürülebilirlik amacıyla merkezi ve yerel yönetimler bütçe olanakları çerçevesinde raylı sistem (tramvay, hafif raylı sistem ve metro) yatırımları gerçekleştirmektedir. Türkiye’de pek çok kentte ulaşım sorunlarına çözümler geliştirebilmek amacıyla ulaşım ana planlarında raylı sistem yatırımları öne çıkmaktadır (Özalp ve Öcalır Akünel, 2008). Son yıllarda hazırlanan planlarda (İUAP, 2011; MUAP, 2018; UPI, 2011) diğer toplu taşıma, motorlu olmayan ulaşım ve sürdürülebilir ulaşım yatırımlarına da daha yer verilmiştir. İstanbul başta olmak üzere büyükşehirlerde raylı sistem yatırımları için büyük kaynak ayrılmaktadır (Baştürk, 2014; Cirit, 2016). Raylı sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin çok yüksek olmasına karşın parasal getirilerinin sınırlı olması nedeniyle yatırım kararı alınmasında sosyal ve çevresel yararların yüksek olması beklenir. Bu yararların gerçekleşebilmesi ise raylı sistem yolcu payının ve sayısının artması ile olanaklıdır. Önemli katkılarına karşın büyük maliyetlerle yapımı gerçekleştirilen raylı sistemlerin planlanması aşamasında risk faktörlerinin dikkate alınmaması durumunda yüksek oranda sapmalar ortaya çıkabilmekte ve bu nedenle kamu idareleri mali açıdan sorun yaşayabilmektedir. Flyvbjerg, Skamris Holm ve Buhl (2003), yatırımlarındaki sapmalar ve öngörü hatalarının nedenlerini politika değişikliği, planlama hataları, iyimser tahminler ve dışsal etkenlerle açıklamaktadır. Büyük ölçekli kentler için hazırlanan ulaşım ana planlarında kapsamlı ulaşım planlama yöntemleri kullanılarak yolculuk öngörülmesi yapılmaktadır. Ancak hazırlanan planlarda risk faktörlerine yeterince yer verilmediğinde bu yönde önlemler de tanımlanmamaktadır.

Literatürde raylı sistemlerin yapım ve işletme aşamalarına yönelik riskleri inceleyen çalışma sayısı sınırlı olmakla beraber özellikle 2019-2021 döneminde yaşanan COVID-19 salgını nedeniyle bu sorunun önemi daha fazla kavranmış ve bu yöndeki çalışmalar hızla artmıştır. Bu çalışmada risk analizi COVID-19 ile sınırlı tutulmamış raylı sistem yatırımlarının barındırdığı çeşitli riskler araştırılmıştır. İstanbul kenti çok sayıda ve farklı kapasitelerde raylı sisteme sahip olması nedeniyle örnek alan olarak incelenmiştir. Çalışmada raylı sistemlerin planlanması aşamasında öngörülen yatırım planı, finansman, yapım, yolcu sayısı öngörülerinin ne düzeyde gerçekleştiği, yanılmaları etkileyen risk faktörlerinin neler olduğu araştırılmıştır.

Araştırmanın ilk aşamasında yatırım programları ve ulaşım ana planı incelenerek İstanbul metropoliten alanında raylı sistem yatırımlarına hangi yıllarda başlandığı ve faaliyete geçmesinin öngörüldüğü ve öngörülerde ortaya

çıkan sapmalar tespit edilmiştir. İkinci aşamada bu sistemlerin işletmeye açılmasından sonra yolcu sayılarının düşük çıkmasının nedenleri riskler araştırılmıştır. Bu kapsamda önce-sonra yöntemi uygulanmıştır. Üçüncü aşamada ise COVID-19 pandemisi nedeniyle yolcu sayısının hangi hatlarda ne oranda azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç bölümünde ulaşım planlamasında raylı sistem yatırımları ve işletmesinde tespit edilen risklere yönelik stratejiler tartışılmıştır.

Literatür Araştırması

Kent içi ulaşım literatüründe risk analizi ve riskleri azaltma yöntemleri hakkında sınırlı çalışma bulunmaktadır (Miller ve Szimba, 2015). Bu yöndeki çalışmalara daha çok yatırım fizibilite raporlarına ve bu çalışmalara yönelik düzenleyici metinlerde rastlanmaktadır (Sartori vd., 2014). Son yıllarda planlama ve fizibilite aşamalarında öngörülemez riskler konusundaki çalışmalar artmaktadır. Fouracre, Allport ve Thomson (1990) geliştirmekte olan 21 ülkedeki kentlerde raylı sistem yatırımlarını, öngörülerini ve gerçekleştirmelerini araştırmış ve iyimser tahminler nedeniyle yüksek oranda yanılmalar olduğunu tespit etmiştir. Pickrell (1990) A.B.D. deki 11 kentte faal raylı sistemin yatırım ve işletme maliyetlerin öngörülerine göre çok daha yüksek, yolcu sayısının ise düşük olduğunu tespit etmiştir. Flyvbjerg vd. (2003) ise 1970-1990 döneminde A.B.D.'deki kentlerde uygulanan raylı sistem projelerindeki hedefler ile sonuçlar arasındaki farkların nedenlerini irdelemiş ve yüksek yanılma düzeyleri olduğunu tespit etmiştir. Nicolaisen (2012) ulaşım planlamasında talep tahminlerindeki yanılmaların en önemli nedenlerinin girdi oluşturan değişkenlerdeki belirsizlikler ve sapmalar ile talep tahmin modellerindeki iyimser varsayımlar olduğunu tespit etmiştir.

Türkiye'deki raylı sistemlerin yatırımına esas öngörülerin ne düzeyde gerçekleştiğini araştıran çalışma sayısı ise çok sınırlıdır (Babalık-Sutcliffe, 2016; Özgür, 2011). Özgür (2011), Ankara'da Metro'yu kullanan yolcu sayısının projede öngörülenden daha düşük olduğunu tespit etmiştir. İlgili çalışmada diğer kentlerdeki raylı sistemlerde de yüksek sapma oranları bulunmuştur. Bu sorun raylı sistemlerden beklenen faydaların elde edilememesine ve payının beklenen düzeye ulaşamamasına neden olmaktadır. Planlanan hatların zaman içinde güzergâhlarının ve sistem özelliklerinin değiştirilerek uygulanması, güzergâhların diğer toplu taşıma hatları ile çakışması, arazi kullanımın ulaşım planını destekleyecek biçimde ele alınmaması, raylı sistem kullanımını arttıracak destekleyici sistemlerin uygulanmaması gibi sorunlar yolcu sayısının öngörülenden sapmasının nedenleri olarak açıklanmaktadır (Özgür, 2011). Bunların yanı sıra ulaşım sistemindeki yapısal sorunlar, diğer toplu taşıma sistemlerinin yönetimi ve raylı

sistem kullanımını teşvik edecek politikalar da raylı sistemin başarısını etkilemektedir (Babalık-Sutcliffe, 2016). İlk yatırım maliyetlerinin yanı sıra işletme maliyetlerinin de yüksek olması, buna karşın sosyal fayda ilkesine göre bilet ücretlerinin düşük alınması, gelirlerin giderleri karşılamaması (sübvansedilmesine) ya da düşük karlılık düzeyinde işletilmesi ile sonuçlanmaktadır (Babalık-Sutcliffe, 2016).

Raylı sistem yapım ve işletme aşamasında karşılaşılan sorunlar ise yapım aşamasındaki gecikmeler ve işletme aşamasındaki arıza ve kazalardır (Damat ve Utlu, 2018; Güneş, 2012; Ocak, 2012; Şen, 2015;). Arkeolojik buluntular, tasarımda değişikliği gerektirebilmekte hattın güzergâhının değişmesi söz konusu olabilmekte gerekli izinler ve önlemler nedeniyle yapım sürecini uzatabilmektedir (Güneş, 2012). Çok sık rastlanmasa da arıza, bakım, kaza, güvenlik önlemleri ve yangın nedeniyle sefer aksamaları olmaktadır (Şen, 2015). Bu aksamaların sıklığı düşük olsa da yolcu sayısında düşüşe neden olmaktadır.

Ramjerdi ve Fearnley (2014) raylı sistem yatırımlarında telafisi olmayan zararların ortaya çıkmaması için risklerin deneyimlere bakılarak önceden kestirilebileceğini, bu amaçla yatırımların hangi aşamasında hangi yanılmaların ortaya çıktığını tespit etmek için önce/sonra, öngörü/gerçekleşme) analizleri yapılmasını önermektedir. AB Yatırım Projeleri İçin Fayda-Maliyet Analizleri Rehberi ise geçmiş deneyimlere dayanarak ulaşım projelerinde risklerin 9 aşamada/başlıkta ortaya çıkabildiğini belirtmektedir (Sartori vd., 2014, s.99):

- 1.Yasal Düzenlemeler (projeyi etkileyebilen yasal değişiklikler)
- 2.Talep analizi (tahminlerden farklı talep)
- 3.Tasarım (yetersiz saha çalışması ve halihazır tespiti, tasarım kaynaklı maliyet tahminleri)
- 4.İdari (ruhsat ve teknik onaylar)
- 5.Kamulaştırma veya arazi satınalma (tahmin edilenden fazla arazi maliyetleri, prosedürlerden kaynaklanan gecikmeler)
- 6.İhale (ihale süreçlerinde gecikmeler)
- 7.Yapım (maliyet artışları, arkeolojik buluntular, sel, heyelan vb. olaylar, yüklenicinin işi tamamlamaması)
- 8.İşletme ve Finansal (yolcu ve bilet gelirinin öngörülenden az, işletme maliyetlerinin öngörülenden fazla olması)
- 9.Diğer (kamuoyu tepkisi)

İlgili rehber risklerin öngörülmesi ve azaltılması için 4 yöntem ve aşama önermektedir (Sartori vd., 2014, s.67-75):

1. Duyarlılık analizi (İng. *sensitivity analysis*)
2. Nitel risk analizi (İng. *qualitative risk analysis*)
3. Olasılıksal risk analizi (İng. *probabilistic risk analysis*)
4. Risk önleme ve azaltma (İng. *risk prevention and mitigation*)

Cats ve Krishnakumari (2020) raylı sistemlerin risklere ve öngörülme- yen sorunlara karşı dayanıklılığını (İng. *robustness*) test etmek ve geliştirmek için senaryo analizi, Wang vd. (2017) ise çok ölçütlü değerlendirme ve strateji geliştirme yöntemini önermektedir. Salling ve Leleur (2017) fizibilite aşamasında senaryo analizine dayalı risk yönetim planları yapılması durumunda öngörülme- yen maliyetlerin azaltılabileceğini belirtmektedir. Sistemin işletme aşamasında bir hatta ortaya çıkabilecek arıza, kapanma veya kesintilerde ise diğer hatların nasıl çalışabildiği test edilerek *dayanıklılık*, *yeterlilik*, *bağlantılılık* (İng. *connectivity*) ve aktarılabilirlik (İng. *transferability*) özellikleri geliştirilerek sistemin dayanıklılığı artırılabilir (Cats, 2016; Cats ve Krishnakumari, 2020; Wang vd., 2017). Cats ve Krishnakumari (2016) ulaşım planlamasında toplu taşıma sisteminin dayanıklılığını artırmanın sağladığı yararların ağ tasarımı aşaması ve yapılabirlik analizlerinde dikkate alınmasını önermektedir.

Yöntem

Literatürde risk analizleri deneyimler, örnekler ve tarihsel analizlerle, yatırımlara esas öngörülerde ortaya çıkan sapmalar ise önce-sonra analizleri ile tespit edilmektedir. Önce-sonra analiz kentsel ulaşım planlamasında çoğunlukla planlanan bir yatırımın belirli bir zaman kesitinde öngörülen hedeflere ne düzeyde ulaştığının ölçülmesi ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada faaliyette olan raylı sistemlerin yatırım süreçleri, yolcu sayıları ve maliyetleri planlama aşamasındaki öngörüler ile karşılaştırılarak sapmalar ve riskler tespit edilmiştir.

Bu amaçla aşağıdaki soruların yanıtları araştırılmıştır:

-Öngörülen/gerçekleşen yapım süresi arasında farklılık var mıdır ve varsa nedenleri nelerdir,

-Öngörülen/gerçekleşen yatırım maliyeti arasında farklılık var mıdır ve varsa nedenleri nelerdir,

-Gerçekleşen/Öngörülen yıllık toplam yolcu sayısı arasında farklılık var mıdır ve varsa nedenleri nelerdir,

-İşletme aşamasında karşılaşılan beklenmedik olaylar/sorunlar nelerdir,

-COVID-19 pandemisi yolcu sayısını ne düzeyde azaltmıştır?

Yolcu tahminlerindeki yanılma (İng. *inaccuracy*) düzeyleri aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Nicolaisen, 2012):

$$Y = \frac{(Xg - X\ddot{o}) * 100}{X\ddot{o}}$$

(1)

Burada, Y , yanılma düzeyini (yüzde olarak)

Xg , gerçekleşen yolcu sayısını,

$X\ddot{o}$, öngörülen yolcu sayısını ifade etmektedir.

Pandeminin yolcu kaybındaki etkisi kısıtlamalara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle pandemi etkisini mevsim ve takvim etkilerinden arındırılmış biçimde hesaplayabilmek için geniş bir zaman aralığını (2018 yılı başından 2020 yılı sonuna kadar) dönemde her bir hat için ayrı ayrı 12 aylık ortalama yolcu sayısı hesaplanmıştır. Çalışmanın risk analizi bölümünde riskler sınıflandırılmış ve her bir sınıf altında çeşitli risk etmenlerinin tespiti ve yolcu kaybı tahminlerinin nasıl hesaplanabileceğine yönelik yöntemler önerilmiştir.

İstanbul'da Raylı Sistem Öngörülere, Gerçekleşmeleri ve Sapmalar

İstanbul kentinin nüfusu ve buna bağlı olarak ulaşım talebi 1950'li yıllardan itibaren hızla artmasına karşın bu talep 1990'lı yılların sonuna kadar karayolu ağırlıklı ulaşım türleri ile karşılanmıştır (Evren, 2001). İstanbul kenti için yüksek kapasiteli raylı sistem projeleri 1908 yılında hazırlanan metro projesiyle başlayarak (Tekeli, 1992) yirminci yüzyıl boyunca tekil projeler ya da ulaşım ana planları kapsamında öngörülmüştür (Evren, 2001; Özalp ve Öcalır Akünel, 2008; Tekeli, 1992). Buna karşın, merkezi yönetim ve Belediye'nin kaynak sorunları başta olmak üzere çeşitli nedenlerle yatırımlar ertelenmiş, ilk raylı sistem hattı ancak 1989 yılında hizmete açılabilmiştir (Metro İstanbul, 2021a). İstanbul İl nüfusu 2020 yılında 15.462.452 kişi olmakla beraber metropoliten alan nüfusu il sınırlarını aşmaktadır. Bu nedenle İstanbul Metropoliten Alan Ulaşım Ana Planı (İUAP, 2011) Kocaeli İli'nin Gebze ilçesini de kapsamaktadır.

İstanbul'da toplam raylı sistem uzunluğu 2019 yılında Marmaray dâhil 233 km'ye ulaşmıştır (Metro İstanbul, 2021b; TCDD Taşımacılık, 2019). Kentte TCCD tarafından işletilen Marmaray dışındaki raylı sistemlerin (finiküler, tramvay, tünel dahil) yolcu sayısı pandemi öncesinde 2019 yılında toplam 704.479.482 düzeyine ulaşmıştır (Metro İstanbul, 2021b, 2021c). Marmaray'ın 2019 yılı yolcu sayısı (124.270.000) (TCDD Taşımacılık, 2019) ile birlikte kent içi raylı sistem toplam yolcu sayısı 828.749.376'ya (M7 Hattı 2019 yılı sonunda hizmete girdiğinden dâhil edilmemiştir) ulaşmaktadır. Buna karşın raylı sistemlerin toplu taşıma yolculukları içindeki payı 2019 yılında ancak %18,6 düzeyinde tahmin edilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Toplu Taşıma Sistemlerinin Hafta İçi Günlük Ortalama Yolcu Sayıları

Toplu Taşıma Türü	Günlük Yolcu Sayısı (2019)	Payı (%)
Raylı Sistem	2.822.291	18,6
Metro/ Hafif Metro	1.654.777	10,9
Tramvay	677.222	4,5
Teleferik / Nostaljik Tramvay / Tünel / Füniküler	59.674	0,4
TCDD (Marmaray)	430.618	2,8
Karayolu	11.682.191	77,1
İETT Otobüs/ Metrobüs	2.059.151	13,4
Özel Halk Otobüsü	1.607.036	10,6
Otobüs A.Ş.	860.801	5,7
Minibüs	2.911.163	19,2
Taksi / Taksi Dolmuş	1.403.949	9,3
Servis	2.867.502	18,9
Denizyolu	644.851	4,3
İDO	163.434	1,1
Şehir Hatları	231.444	1,5
Özel Tekne / Motor	249.973	1,7
Toplam	15.149.333	100

(Kaynak: İETT, 2019) Not: İlgili kaynakta günlük yolcu sayısının tüm türler için nasıl hesaplandığı açıklanmamıştır. Tablodaki değerler diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında hafta içi günlük ortalama tahmini yolcu değerlerini yansıttığı anlaşılmaktadır.

Yolcu sayısı 2010-19 döneminde raylı sistem sayısı ve toplam uzunluğundaki artışla birlikte %209 artmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. İstanbul'da Raylı Sistemlerin Yıllık Yolcu Sayısı (milyon), 2000-2019

Yıl	M1 Hattı	M2 Hattı	M3 Hattı	M4 Hattı	M5 Hattı	M6 Hattı	T1 Hattı	T3 Hattı	T4 Hattı	F1 Hattı	TF1+TF2	Marmaray	TOPLAM
2010	69,9	62,5					96,7		30,3	8,4	1,5		267,8
2011	71,1	75,9					105,0		31,3	9,5	1,5		292,8
2012	76,1	84,3		13,1			113,4		33,0	11,2	1,7		331,1
2013	89,1	89,8	4,1	49,1			121,3		34,4	12,0	1,8		399,9
2014	115,4	112,6	13,9	70,4			121,3		37,3	11,1	1,9		482,0
2015	143,3	136,4	18,9	82,7		3,6	119,4		42,7	10,1	1,7		557,0
2016	151,5	137,4	21,2	87,5		5,5	117,6		47,5	6,7	1,7		574,9
2017	151,9	141,8	22,0	99,7	1,3	5,9	122,0	0,8	50,5	4,2	1,5		599,9
2018	155,9	150,7	23,2	101,8	32,3	5,7	132,5	1,0	53,2	4,9	1,8	67,8	661,2
2019	149,5	161,0	23,7	88,6	66,5	6,1	141,6	1,1	58,5	6,0	1,9	124,3	828,8

(Kaynak: İBB, 2021a; Metro İstanbul 2021c; TCDD Taşımacılık, 2019) Not: M7 Mecidiyeköy-Mahmutbey hattı 2019 yılında faaliyete başladığı için toplam tabloda verilmemiştir.

Raylı sistemlerin toplam yolcu sayısı kadar verimlilik/konfor düzeyi de en önemli performans göstergelerinden biridir. Sistem verimliliği sefer başına, sefer.km başına, vagon başına ve vagon.km başına taşınan ortalama yolcu değeri ile ölçülmektedir. Konfor düzeyini de ifade eden bu değer yön bazında günlük ve saatlik ölçülerek araçların doluluk düzeyleri hesaplanabilmektedir. Ortalama yolculuk uzunluğuna yönelik verilerin olmaması nedeniyle verimlilik/konfor düzeyi yıllık ortalama doluluk göstergesi olan yolcu/sefer ve yolcu/vagon.sefer.km değerleri hesaplanarak yorumlanmıştır. Sonuçlara göre metro ve tramvay hatlarında yolcu/sefer ve yolcu/sefer.km değerleri arasında önemli farklılıklar çıkmaktadır. Bu durum sistemlerin doluluk oranları arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Sistemlerin kapasite hesaplaması ortalama yolculuk mesafesi, sefer sayısı, hat uzunluğu, araç kapasitesi kabullerine göre değişken bir göstergedir. Katar kapasitesi ise tek başına kapasite hesaplaması için yeterli değildir. Bu nedenle sistemin ne düzeyde verimli çalıştığının tespit edilebilmesi için yolcu/kapasite değeri yerine yatırımın yapılabilirliğine karar verilmesi aşamasında öngörülen fayda ve maliyet esas alındığından gerçekleşen/öngörülen yolcu değeri esas alınabilir. Metro hatlarında vagon.sefer.km değerleri tramvay hatlarına kıyasla daha düşük kalmaktadır (Tablo 3). Yolcu/vagon.sefer.km değerinin hat uzunluğu ile çarpımı sefer başına taşınan yolcu (yıllık ortalama günlük) sayısını vermektedir. Buna göre T1 ve T3 araçlarının yol boyunca dolu-aşırı dolu hizmet verdiği, buna karşın M3 ve M6 hatlarındaki araçların ise çok düşük doluluk düzeylerinde hizmet verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. İstanbul Raylı Sistemler Yıllık Yolculuk Değerleri, 2019

	M1 Hattı	M2 Hattı	M3 Hattı	M4 Hattı	M5 Hattı	M6 Hattı	T1 Hattı	T3 Hattı	T4 Hattı
Yolcu Sayısı (milyon)	149,5	161,0	23,7	88,6	66,5	6,0	141,6	1,1	58,5
Sefer Sayısı (bin)	255,6	253,8	194,2	137,5	127,0	95,4	276,8	25,6	153,4
Yolcu/sefer	585	635	122	644	524	64	512	44	381
Hat Uzunluğu (km)	26,80	23,49	15,90	26,20	20,00	3,30	19,30	2,60	15,30
Yolcu/sefer.km	21,82	27,01	7,67	24,59	26,18	19,28	26,50	16,93	24,92
Vagon.km (milyon)	17,1	21,8	7,0	21,1	14,7	1,2	7,1	0,07	6,0
Yolcu/vagon.sefer	234	173	54	110	91	17	385	44	149
Yolcu/vagon.sefer.km	8,73	7,37	3,39	4,20	4,53	5,13	19,93	17,02	9,72

(Kaynak: Metro İstanbul, 2021a, 2021b, 2021c; İBB, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d)

Hatların bir kısmı 1990'lı yıllarda inşa edildiğinden yolcu öngörülerine ulaşamamıştır. Fizibilite raporlarına ulaşılabilen M1 ve M3 hatlarında, ki yolcu/sefer ve yolcu/sefer.km değeri yüksek çıkmaktadır, dahi 2019 yılı içinde günlük en yüksek yolcu sayısı dahi öngörülen günlük yolcu sayısının

çok gerisinde kalmaktadır (Tablo 4). Her iki metro hattının fizibilite çalışması 2005 ve 2007 yılında İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP, 2011) öncesinde hazırlanmıştır. Söz konusu raporlar ilgili dönemde yürürlükte olan nazım imar planı arazi kullanım verileri ve öngörülmesi esas alınarak hazırlanmıştır. Aşağıdaki tabloda M2 ve M4 hatları için hazırlanan fizibilite raporlarında 2019 ve 2019 yılları için öngörülen hafta içi günlük yolcu sayıları (a) gerçekleşen hafta içi en yüksek yolcu sayıları (b) görülmektedir.

Tablo 4. M2 ve M4 Hatları Geçekleşen En Yüksek Yolcu/Öngörülen Günlük Yolcu Verileri, 2018-2019

Hat Adı	Öngörülen Yolcu (bin) (a)		Gerçekleşen Yolcu (bin) (b)		a/b	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Yenikapı-Hacıosman (M2)	1.115,0	1.137,7	591,5	629,8	53,05%	55,35%
Kadıköy-Tavşantepe (M4)	840,7	860,9	373,0	353,3	44,37%	41,04%

(Kaynak: İBB, 2005, 2007, 2021d)

Öngörülen yolcu sayılarına ulaşamaması nedeniyle yatırımlar için öngörülen mali gelirlerin (İBB, 2005; 2006; 2007a; 2007b; Ayan; 2018) gerçekleşmesi riski bulunmaktadır. İstanbul Ulaşım Ana Planı raporunda (İUAP, 2011, s.318) kısa vadede yapılması planlanan M2, M3, M4, M5, M6, M8, M12, M15, M18, H15 ve Marmaray projeleri için 11,458 Milyar A.B.D. Doları, orta vadede öngörülen yatırımlar için 8,366 Milyar A.B.D. Doları, uzun vadede yapımı planlanan hatlar için 8,399 Milyar A.B.D. Doları olmak üzere toplam 28,224 8,366 Milyar A.B.D. Doları inşaat maliyeti öngörülmüştür. Bu hatların bir kısmı faaliyete geçmiş ve bir kısmı ise proje aşamasındadır (Metro İstanbul, 2019, s.56-57). İstanbul raylı sistemleri Metro A.Ş. İETT ve TCDD tarafından işletilmektedir. Metro A.Ş. tarafından işletilen hatlarda faaliyet giderlerinin ancak karşılanabildiği, bazı yıllarda ise karşılanamadığı tespit edilmiştir (Tablo 5).

(Tablo 5. İstanbul Metro A.Ş. Faaliyet Gelir ve Giderleri, 2011-2020)

MALİ YIL	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GELİR (milyon TL)	301,9	362,7	463,4	606,1	704,0	727,0	800,7	956,2	988,3
GİDER (milyon TL)	304,2	363,3	459,7	547,9	679,1	715,4	794,0	938,2	863,8
GELİR-GİDER (milyon TL)	-2,3	-0,6	3,7	58,3	24,9	11,6	6,7	18,0	124,5

(Kaynak: Metro İstanbul, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019)

Son 10 yılda artan yolcu sayısına bağlı sadece işletme gelirleri değil aynı zamanda giderleri de artmaktadır (Tablo 6). Ancak net kar düzeyleri ilk yatırım maliyetlerinin karşılanması için güç olduğunu göstermektedir. Bu durumda yatırımların uzun vadede dahi yolcu gelirleriyle karşılanması olanaklı görünmemektedir. Bu sorun raylı sistem yatırımlarında maliyet ve geri ödeme planının iyimser kabuller ve tahminler yerine riskleri gözeterek ve riskleri azaltacak önlemler içerecek şekilde yapılması gerektiğini işaret etmektedir. Yukarıdaki gelir ve giderler sistemdeki tüm hatları kapsamaktadır. Hat bazlı maliyet ve gelir verileri sadece 2011-2014 arası faaliyet raporlarında sunulmuştur. İlgili dönemde gelir/gider oranının düşük olmasında M3, T4 hatlarındaki yolcu sayısının düşük kalmasının etkili olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 6).

Tablo 6. İstanbul Metro A.Ş. Hatlar Bazında Faaliyet Gelir ve Giderleri, (Milyon TL) 2011-2014

	GELİR	GİDER	GELİR	GİDER	GELİR	GİDER	GELİR	GİDER
	2011	2011	2012	2012	2013	2013	2014	2014
M1 Aksaray Atatürk Havalimanı	79,8	62,3	91,0	65,7	110,0	77,1	145,8	98,9
M2 Şişhane Hacıosman	75,5	64,0	90,0	74,3	101,2	79,3	137,7	97,8
M3 Kirazlı Başakşehir Olimpiyatköy					5,7	28,3	16,9	39,6
M4 Kadıköy Kartal			8,6	18,9	46,8	57,2	86,5	73,1
T1 Bağcılar Kabataş	104,7	90,0	123,7	99,1	143,7	111,7	156,9	115,8
T4 Topkapı Habibler	30,8	46,0	34,3	51,7	37,6	55,5	43,9	63,6

(Kaynak: Metro İstanbul, 2021b)

Gelirlerin düşük olmasının diğer nedeni ise bilet birim ücretleridir ki bu değer idareler tarafından yolcuların alım gücü ve işletme maliyetleri arasında bir denge sağlayabilecek şekilde ile belirlenmektedir. Bilet ücretlerinin öngörülenden düşük kalması mali kayba neden olurken yolcu sayısının düşük kalması hedeflenen sosyal ve çevresel faydaların sağlanmaması şeklinde sonuçlanmaktadır. İstanbul kentinde ulaşım ana planının onaylandığı 2011 yılında bilet birim ücreti (tek binişlik indirimsiz yolcu) ilgili yıl döviz kuruna göre 1,08 A.B.D. Dolarına denk gelmektedir. Raylı sistem fizibilite raporlarında bilet fiyatları için öngörülen ücret 0,50-0,75 A.B.D. Doları arasındadır. Ancak gerek döviz kurlarındaki artış gerekse kişi başına gelirdeki azalma nedeniyle bilet ücretleri 2016 yılında 0,76 A.B.D. Dolarına, 2021 yılı ortasında ise

0,46 A.B.D. Dolarına düşmüştür. Bu da gelir öngörülerindeki olası sapmaların nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Maliyetlerdeki artış ve gelirlerdeki azalma riski ulaşım ana planlarında risk analizi ve risk azaltma stratejileri kapsamında değerlendirilmesi gereken bir sorun olup incelenen fizibilite çalışmalarında bu yönde bir çalışmaya rastlanmamıştır (İBB, 2005, 2006, 2007a, 2007b).

Raylı Sistemlerde Risk Sınıflaması

Talepteki Sapmaya Neden Olan Riskler

Yolcu sayısının düşük çıkmasının temel nedenlerinden biri ulaşım talep tahminine girdi olan değişkenlerdeki sapmadır. Nüfus, işgücü, öğrenci sayısı, hastane kapasiteleri, alışveriş mekânlarının dağılımı gibi değişkenler çevre düzeni planı ve nazım imar planında öngörülmektedir. Ulaşım ana planında ise bunlar girdi oluşturmaktadır ve değişkenlerdeki sapma ulaşım talebinde de sapmaya neden olmaktadır. Yatırımı bir hattın çevresindeki arazi kullanımının, nüfusun ve işgücünün planında öngörülenden farklı düzeyde gerçekleşmesi durumunda yolcu sayısında sapma gerçekleşmektedir. Öngörülenden fazla gerçekleşme hat kapasitesinin yetersiz kalması, öngörülenden düşük gerçekleşme ise atıl kapasiteye neden olmaktadır. İkinci neden, nüfus ve arazi kullanımı değişmese dahi demografik yapının değişmesi, bununla birlikte maliyet, konfor, ulaşım süresi nedeniyle ulaşım tercihlerini değiştirmesidir. Üçüncü neden ise raylı sistem işletmesinin (frekans, konfor, güvenilirlik, aktarma olanakları, bilet ücretleri vd.) planda ve fizibilite raporunda öngörülen biçimde gerçekleşmemesidir. Bunların dışında yolcu sayısının düşük gerçekleşmesine neden olabilecek nedenler detaylı saha çalışması (anket) ile tespit edilebilir. İstanbul ulaşım ana planındaki yolcu tahmin modelinin en önemli girdi değişkenlerinden biri olan nüfusun mekânsal dağılımı çevre düzeni planı ve nazım imar planında belirlenmiştir. Ulaşım ana planına esas alınan mahalle nüfuslarına yönelik öngörüler detaylı olarak yayınlanmadığından bu çalışmada ilçelerin 2018 yılı nüfusları planda 2023 yılı için öngörülen nüfuslar ile (2009-2023 ara yıl enterpolasyonu ile ilçelerin 2018 yılına denk gelen nüfus öngörülerini) ile karşılaştırılmıştır. İstanbul metropoliten alanındaki toplam nüfusu ile öngörülen arasında çok düşük bir sapma olmasına karşın ilçelerin 2018 yılı nüfusları plan öngörülerinden kayda değer biçimde farklı gerçekleşmiştir (Tablo 7). Nüfus değişiminin yolculuk talebine etkisinin güvenilir düzeyde hesaplanabilmesi için kapsamlı bir ulaşım etüdü ve anket çalışması yapılması önerilmektedir.

Tablo 7. İstanbul Metropoliten Alanındaki İlçelerin 2018 Yılı Nüfusları (Gerçekleşen/ Öngörülen)

İlçe	2018 Tahmini Nüfus	2018 Güncel Nüfus	Sapma (Güncel-Tahmin)	Etkilenen Raylı Sistem Hatları (Mevcut)	Gelecekte Etkilenebilecek Raylı Sistem Hatları (Yapımı Süren / Planlanan)
Adalar	14.925	16.119	1.194		
Kadıköy	524.722	458.638	-66.084	M4, Marmarav	T3, M8, M12, Kadıköy-Sultanbeyli
Ataşehir	410.542	416.318	5.776		M8, M12, Kadıköy-Sultanbeyli Hattı, M13
Üsküdar	541.721	529.145	-12.576	M5	Altunizade-Camlıca Hattı
Maltepe	447.433	497.034	49.601	M4, Marmarav	
Ümraniye	580.873	690.193	109.320	M3, M5	M8, M12
Cekmeköy	152.180	251.937	99.757	M5	
Bevkoz	297.055	246.700	-50.355		
Sultanbeyli	285.579	327.798	42.219		M5, Kadıköy-Sultanbeyli Hattı
Sile	35.954	36.516	562		
Kartal	467.726	461.155	-6.571	M4, Marmarav	
Pendik	851.736	693.599	-158.137	M4, Marmarav	M10, Sabiha Gökçen Havalimanı-Kurtköy Kavşağı Hattı
Tuzla	220.704	255.468	34.764	Marmarav	M4
Gebze*	897.323	500.856	-396.467	Marmarav	
Sarıyer	302.354	414.143	111.789		M13, M5, Kadıköy-Sultanbeyli Hattı
BeYOğlu	246.790	230.526	-16.264	M2, T1, T4	
Sisli	323.650	274.289	-49.361	M2, M7	Kazlıçesme-Söğütlucesme Hattı
Besiktas	181.631	181.074	-557	M2, M7, M11	
Kağıthane	419.337	437.026	17.689	M2,	M7, M11, İstinye-İTÜ-Kağıthane Metro Hattı, Seyrantepe-Alibeyköy Hattı
Sarıyer	303.399	342.503	39.105	M2	İstinye-İTÜ-Kağıthane Hattı
Fatih	434.555	436.539	1.984	M1B, M2, T1, T4, T5	Kazlıçesme-Söğütlucesme Hattı, Vezneciler-Arnautköy Hattı
Eyüpsultan (Eyüp)	386.978	383.909	-3.069	T4, T5	M11, Seyrantepe-Alibeyköy, Vezneciler-Arnautköy Hattı
Zeytinburnu	307.493	284.935	-22.558	M1A, T1, M2	Kazlıçesme-Söğütlucesme Hattı
Bayrampaşa	269.425	271.073	1.648	M1A, M1B, T4	Kazlıçesme-Söğütlucesme, T5 Eyüp-Bayrampaşa Hattı
Gaziosmanpaşa	468.267	487.046	18.779	T4	Kazlıçesme-Söğütlucesme, Vezneciler-Arnautköy Hattı
Sultangazi	442.765	523.765	81.000	T4	M Vezneciler-Arnautköy Hattı
Esenler	459.980	444.561	-15.419	M1B, M1A	Esenler-Davutpasa Hattı
Güngören	311.672	289.331	-22.341	T1	
Bağcılar	750.274	734.369	-15.905	T1, M1B, M3, M7	
Bahçelievler	576.799	594.053	17.254	M1A, M3	M9
Bakırköy	219.865	222.668	2.803	M1A, Marmarav	M3, M9, M2
Küçükçekmece	699.409	770.317	70.908		M1B, M2
Avclar	333.775	435.625	101.850		M11
Catalca	78.709	72.966	-5.743		
Silivri	830.453	187.621	-642.832		
Basaksehir	444.377	427.835	-16.542	M3, M9	M7, M11
Büyükçekmece	356.897	247.736	-109.161		
Bevlikdüzü	285.147	331.525	46.378		
Esenyurt	429.794	891.120	461.326		M7
Arnavutköy	259.291	270.549	11.258		Vezneciler-Arnautköy Hattı
Toplam	15.851.559	15.568.580	-282.979		

(Kaynak: İUAP, 2011; TÜİK, 2018)

Yolcu sayısı öngörülerindeki sapmaların en önemli nedenlerinden biri de nüfusun metropoliten alanda yer değiştirmesi ve iç göç olarak ile açıklanabilir. İstanbul İlinde çevre düzeni planının ve ulaşım ana planının onaylanmasından sonraki verisi elde edilebilen beş yıllık dönemde (2013-2018) yaklaşık 2,5 milyon kişinin başka illere ya da il içinde başka ilçelere taşındığı tespit edilmiştir (TÜİK, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, 2013-2018). Nüfusun iller ve ilçeler arasında adres değiştirmesi aynı zamanda ilçelerin demografik yapısında ve ulaşım talebinde öngörülenden farklı dönüşümlere neden olabilecek büyüklüktedir.

Yukarıdaki bölümde raylı sistem yolcu sayısını etkileyebilen demografik verilerdeki sapmalar tespit edilmiştir. Planlama aşamasında öngörülen yolculuk talebini etkileyebilecek arazi kullanımı veya demografik yapıdaki değişimler nedeniyle ortaya çıkabilecek yolcu kaybı (riski) aşağıdaki genel denkleme göre tahmin edilebilir:

$$Risk=YE=\sum_{i=1}^n pi * di * ri * Xi+e \quad (2)$$

Burada YE , toplam yolcu eksilmesi,

pi , i değişkenindeki azalma ya da sapma olasılığı,

ri i değişkenindeki azalma ya da sapma oranı,

di , i değişkeninin ürettiği ve çektiği yolcu sayısı içinde raylı sistemlerin payı,

X , i ilgili değişkenin birim zamanda ürettiği ve çektiği yolcu sayısını,

n , değişken sayısını,

e , hata terimini ifade etmektedir.

Bir raylı sistem hattında belirli bir değişkende (i) ortaya çıkabilecek sapmaların bir yıl içinde gerçekleşme olasılığına ve oranına göre yolcu sayısında sapma miktarı tahmin edilebilir. Bu değişkenlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

$i=1$ Hat çevresindeki bölgelerde yaşayan nüfusun azalması,

$i=2$ Hat çevresindeki okul kapasitesinin azalması,

$i=3$ Hat yolcusu çalışan sayısının azalması,

$i=4$ Hat çevresindeki hastane kapasitesinin azalması,

$i=5$ Hat çevresindeki ticaret alanının azalması,

$i=6$ Hattın erişim sağladığı ana ulaşım terminalinin taşınması ya da kapatılması

Yapım, Maliyet ve Gelir Riskleri

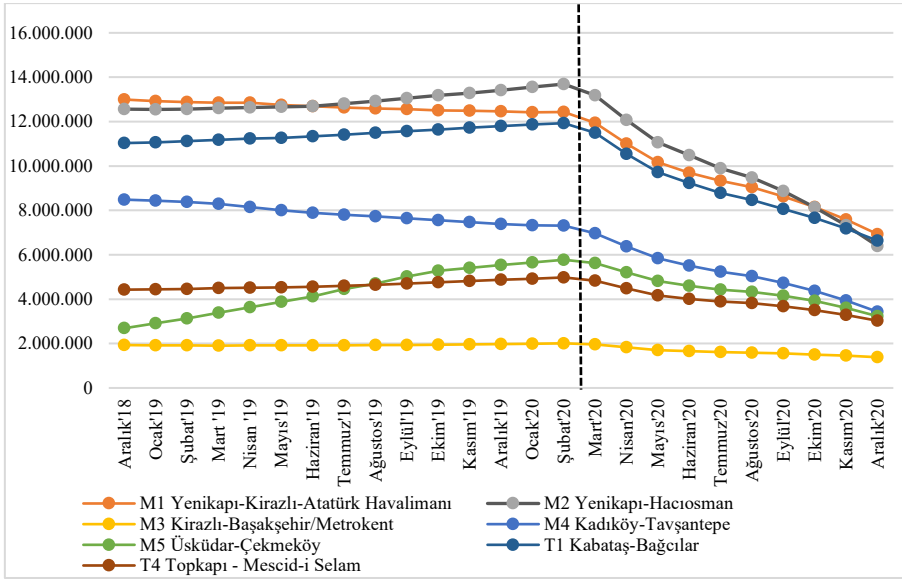
Raylı sistem yatırımlarının gerçekleşmesini engelleyen ya da geciktiren en önemli sorunlardan biri gerekli finansmanın sağlanamamasıdır. Diğer nedenler ise güzergâh boyunca kazı aşamasında tarihi ve arkeolojik buluntular ortaya çıkması, gerekli idari izinlerin alınmasının zaman alması, zemin kaynaklı öngörülme zorluklar, çevredeki yapıların etkilenmesi, aşırı yağış ve iş kazalarıdır.

Bunların yanı sıra kur krizi gibi kısa veya uzun erimli riskler sistemin gelir/gider dengesini değiştirebilmektedir. Döviz kurlarının yükselmesi, bilet fiyatlarının sosyal nedenlerle arttırılamaması ve bunlara bağlı olarak kredi ödemelerinin zamanında yapılamaması gibi riskler bulunmaktadır. Türkiye’de 2013 yılından sonra döviz kurlarındaki artış nedeniyle uzun vadeli kredi yoluyla yapılan raylı sistemlerin döviz endeksli gelirleri azalmıştır. Bu sorun, ulaşım ana planı ve fizibilite çalışmalarında iyimser tahminler ve öngörüler yerine olası finansal risklerin de dikkate alınmasını işaret etmektedir. Riskleri içeren planlamada sistem özellikleri, kapasitesi, maliyeti ve fayda/maliyet oranları iyimser senaryoların aksine daha düşük çıkabilir. Bu durumda talebin yüksek maliyetli sistemler yerine daha düşük kapasiteli ve daha düşük maliyetli sistemlerle karşılanmasına yönelik seçenekler değerlendirilebilir.

Hareketliliğin Kısıtlanması Nedeniyle Oluşan Riskler

Salgın hastalıklar karantina önlemleri gerektiren ve bu nedenle geçici süre ile yolcu azalmasına neden olan etkenlerden biridir. Pandemi, yolcu sayısını kısa dönemler için azaltan ancak yüksek derecede etkili bir sorun olmakla beraber hareketlilikte kalıcı etkiler bırakabilir. COVID-19 Pandemisi nedeniyle dünyanın pek çok kentinde yönetimler kapanma ve yolculuk kısıtlamaları getirmiş ve bu nedenle toplu taşıma yolcu sayıları pandemi öncesine göre keskin biçimde düşmüştür (Bucsky 2020; Gkiotsalitis ve Cats, 2021; Severo, Ribeiro, Lucas, Leão ve Barros, 2021; Tirachini ve Cats, 2020). Benzer nitelikteki bir pandeminin ortaya çıkma olasılığının çok düşük olması nedeniyle öngörülmesi çok zor olan bu sorunla baş etme konusunda kent yönetimlerinin yetersizlikleri ortaya çıkmıştır. İlgili çalışmalarda belirli zaman kesitleri için önce/sonra karşılaştırması yapılmıştır.

İstanbul’da pandemi dönemindeki kısıtlamalar aylar, haftalar ve günlere göre değiştiğinden bu çalışmada karşılaştırılabilir analizler yapabilmek için takvim ve mevsim etkilerinden arındırılmış ortalama değerler hesaplanmıştır. 2018 yılı Ocak ayı ile 2020 Yılı Aralık ayı arasında 12 aylık ortalama yolcu (Aralık 2018-Aralık 2020 arası) yolcu sayısındaki değişim incelendiğinde İstanbul kentinde literatürdeki çalışmalarda elde edilen bulgulara benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Raylı Sistemlerin 12 Aylık Ortalama Yolcu Sayısı, Aralık 2018-Aralık 2020
(Kaynak: Metro İstanbul 2021c.)

Verilere göre COVID-19 kısıtlamaları nedeniyle raylı sistem hatlarındaki yolcu kaybı 12 aylık ortalamada %46 düşmüştür. Hatlar arasında yolcu kaybı incelendiğinde küçük farklılıklar bulunmaktadır. Pandemi döneminde hizmet sektöründe kısıtlama oranları daha yüksek iken sanayi ve lojistik sektöründe daha az kısıtlama getirilmiştir. Bu durum ilgili sanayi kollarındaki nüfusun hareketliliğinin daha yüksek kalması anlamına gelmektedir. Bazı hatların hizmet verdiği güzergâhlarda nüfusun gelir durumunun görece olarak daha düşük olması ve sanayi istihdamının yüksek olması yolcu kaybının düşük düzeyde kalmasına neden olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca metro istasyonlarının yer altında olması ve yolcuların kapalı mekanları kullanmaktan çekinmeleri, buna karşın tramvay duraklarının açık alanda olması da kullanım oranlarını etkileyen diğer bir neden olarak sıralanabilir. Diğer yandan eğitim-öğretim faaliyetlerinin uzaktan eğitim sistemiyle yürütülmesi, 65 yaş üstü yaş grubu nüfusun hareketliliğinin kısıtlanması da raylı sistemlerde kullanım oranlarının düşmesine neden olan etkenlerdir. Ancak bu etkenlerin ne düzeyde belirleyici olduğunu güvenilir düzeyde saptamak için anket çalışması yapılması gerekir.

COVID-19 deneyimi yatırım kararlarının alınmasında sistem seçiminde risk analizleri yapılması ve azaltıcı önlemlerin alınmasının gerekliliğini öne çıkarmıştır. Pandemi, deprem, sel, fırtına, kamu güvenliğini tehdit eden toplumsal olaylar sıra dışı olaylar kısa veya uzun sürebilen, farklı ölçeklerde ve çok düşük ya da

düşük olasılıklarla gerçekleşen zararı ve bu üç değişkene tahmin edilebilen olaylardır. Aşağıdaki denklem olağan dışı olayların gerçekleşmesi durumunda yolcu sayısının tahmin edilmesinde kullanılabilir:

$$Risk=YE=\sum_{i=1}^n pi * ti * ki * Xi + e \quad (3)$$

Burada YE , toplam yolcu eksilmesi,
 pi , i olayının gerçekleşme olasılığı,
 ti , i olayının etki süresini (gün/yıl),
 ki , i olayının hareketliliği kısıtlama oranını,
 Xi , i olaydan etkilenebilecek yolcu sayısını,
 n , risk hesaplamasına konu olabilecek olay sayısını,
 e , hata terimini ifade etmektedir.

Burada kentin konumuna ve niteliklerine göre farkı risk etmenleri tanımlanabilir:

$i=1$ Hat yolcularının hareketliliğine engel olabilecek salgın hastalık ortaya çıkması,

$i=2$ Raylı sistemi uzun süre kullanılamayacak duruma getirebilecek hasarlara neden olan deprem meydana gelmesi,

$i=3$ Raylı sistemi uzun süre kullanılamayacak duruma getirebilecek hasarlara neden olan sel veya su baskını meydana gelmesi,

$i=4$ Kamu güvenliğini etkileyen ve hattın çalışmasına uzun süre engel olabilecek toplumsal olaylar gerçekleşmesi.

İşletme Aşamasında Karşılaşılabilecek Arıza, Aksama ve Kazalar

İstanbul'da raylı sistemlerin işletilmesinde kaza, arıza, güvenlik, yangın ve bakım çalışmaları gibi nedenlerle sefer iptallerine ilişkin sınırlı veri olmasına karşın (Metro İstanbul, 2021d) bu sorunların neden olduğu yolcu kayıplarına ilişkin hesaplama yapılacak detayda veri elde edilememiştir. Yeterli veri olması durumunda bu sorunların toplam yolcu azalmasındaki etkisi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$Risk=YE=\sum_{i=1}^n pi * ti * si * Gi \quad (4)$$

Burada YE , toplam yolcu eksilmesi,
 pi , i olayının gerçekleşme olasılığı,
 ti , i olayının etki süresini (saat),

s_i , i olayının gerçekleşebileceği zaman aralığındaki (saatler) yolcu sayısının günlük yolcu sayısına oranı,

G , i olaydan etkilenebilecek hattaki günlük yolcu sayısını,

n , risk hesaplamasına konu olabilecek olay sayısını,

e , hata terimini ifade etmektedir.

Burada aşağıdaki değişkenler risk etmenleri olarak tanımlanabilir:

$i=1$ Güzergah boyunca herhangi bir noktada yangın gerçekleşmesi,

$i=2$ Güzergah boyunca herhangi bir noktada kaza gerçekleşmesi,

$i=3$ Güzergah boyunca herhangi bir noktada arıza gerçekleşmesi,

$i=4$ Güzergah boyunca herhangi bir noktada kısa süreli etki bırakan su baskını gerçekleşmesi,

$i=5$ Güzergah boyunca herhangi bir noktada güvenlik nedeniyle bir veya birden fazla istasyonun kullanıma kapatılması.

Kuşkusuz bu risklerin yanında çok daha fazla riskler tanımlanabilir ve yolcu azalma tahminleri daha güvenilir biçimde yapılabilir. Gerek ulaşım planlamasında ve gerekse projelendirme ve fizibilite çalışmalarında yukarıda sıralanan bazı risklerin önemli bir bölümü dikkate alınmaktadır. Örneğin deprem, kaza, yangın, arıza, su baskını riskleri projelendirme aşamasında tahmin edilmekte ve buna göre önlemler alınabilmektedir. Ancak yine de öngörülmeyen ölçek, düzey ya da büyüklükte sorunlar ortaya çıkabilmektedir ve bu da işletme maliyetlerine ve gelir kayıplarına neden olabilmektedir (McDaniels, Chang, Cole, Mikawoz, ve Longstaff, 2008).

Tartışma ve Sonuç

Raylı sistemlerin planlanması ve işletilmesinde karşılaşılan en önemli sorun yolcu sayısının uzun erimde öngörülenden yüksek veya düşük gerçekleşmesidir. Kentte yolculuk üretimi/çekimi yüksek kentsel işlevlerin ulaşım planlama çalışmalarında öngörülen yapıdan farklı olarak güzergâh dışındaki bölgelere taşınması, koridordaki işyeri veya konut sayısının azalması, ekonomik, sosyal ve demografik yapıdaki değişim gibi nedenler yolcu sayısının öngörülenden düşük gerçekleşmesine neden olabilmektedir.

Pandemi ve benzeri sorunlar ise ortaya çıkma olasılığı düşük ancak kısa vadeli etkileri çok yüksek olan riskler grubunda yer almaktadır. COVID-19 pandemisi İstanbul'da raylı sistemleri kullanan yolcu sayısının 2020 yılında %46 oranında azalmasına neden olmuştur. Raylı sistem güzergâhlarının çevresinde yaşayan nüfusun ekonomik durumu, iş durumu, yolculuk amaçları ve durakların

erişilebilirliği ve açık/kapalı olması gibi özellikler ilgili hatların kullanım düzeyini belirleyen etmenlerdir. Pandemi sonrasında kentteki yolculuk davranışlarındaki (uzaktan çalışma, uzaktan öğrenme, e-ticaret, otomobil kullanımının artması vd.) değişimin pandemi sonrasında sürmesi durumunda raylı sistemlerin kullanımında beklenen artış gerçekleşmeyebilir. Bu yöndeki değişimlerin düzeyi ve yolculuk davranışındaki etkisi ise pandemi sonrasında anket ve saha çalışması ile tespit edilebilir.

Bu çalışmada incelenen çeşitli risk faktörleri dikkate alındığında ulaşım ana planlarında ve özellikle raylı sistem yatırımlarında risk türlerinin, öngörülerdeki sapma olasılıklarının, olağan dışı etkenlerin ve bunlara karşı alınacak önlemlerin (B, C planları) tanımlanması önerilmektedir. Bu durumda gerek finansal fizibilite ve gerekse fayda maliyet analizlerinde bu olasılıkların ve neden olabileceği mali kayıpların içerilmesi önerilmektedir. Yazında planlama aşamasındaki riskleri araştıran çalışma sayısı sınırlı olduğundan hatlar bazında daha detaylı ve kapsamlı veri elde edilmesi, anket ve saha çalışmaları yapılması ve risk etkenlerinin daha güvenilir ve detaylı olarak tespit edilmesi durumunda yazına önemli katkı sağlanabilir. Yapılacak teorik çalışmalar ulaşım planlaması alanında daha güvenilir yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.



Extended Abstract

Risk Factors in Urban Rail Transit Planning: İstanbul Case

*

Fikret Zorlu

ORCID: 0000-0002-9243-1398

Elif Kızılay

ORCID: 0000-0001-9302-7779

Both central and local governments invest for rail transit in order to reduce urban transportation problems and to achieve sustainability objectives. Similarly, in Turkey, transportation master plans gave priority rail system investments to reduce adverse effects of urban transport problems. Great resources are allocated for rail system investments in metropolitan cities, especially in Istanbul. Since investment and operating costs of rail systems are very high, and monetary returns are limited, the social and environmental benefits shall be at predicted level. The realization of these benefits is possible by increasing the share and number of rail system passengers.

The number of studies dealing with the risks for the construction and operation phases of rail systems is limited in the literature, and the importance of this problem has been understood more and the studies in this direction have noticed especially due to the COVID-19 epidemic in the 2019-2021 period. This research employed before-after analysis in order to find inaccuracies and failures at planning, investment and management of transit systems and various risks of rail system investments, are investigated. Istanbul metropolitan city has been studied as a case because various rail systems are operated. This study investigated transport master plan forecasts, investment programs, financing, construction, predicted number of passengers for rail systems, and the risk factors affecting the inaccuracies.

In the literature, risk analyzes are conducted by before-after (ex-post) analyses which compare predicted versus actual number of passengers in order to find out inaccuracies. In this study, investment processes, passenger numbers and costs of the operating rail systems were compared with the projections at the planning stage, and deviations. Then possible risk factors are identified.

The research questions of this study are:

-Is there a difference between the projected/actual investment and operation timeline and if so, what are the reasons?

-Is there a difference between the projected/actual investment cost and if so, what are the reasons?

-Is there a difference between the actual/projected annual and daily number of passengers, and if so, what are the reasons?

-What are the unexpected events/problems encountered during the operation phase, and

-How much has the COVID-19 pandemic reduced the number of passengers?

In this study risks factors in rail transit are classified in four categories:

1- Risks Causing Inaccuracies in Travel Demand for Rail Transit: Research findings reveal that even before the pandemic (2020), passenger demand for rail transit was below predicted figures. Inaccuracies in estimation of passenger demand, which result in prolonging cost recovery period, is mostly related to land use, population and demographic inputs of the transport master plans. One of the main reasons for the low number of passengers is the deviation in the variables that are input to the transportation demand forecast. Variables such as population, employment, number of students, hospital capacities, distribution of shopping areas are proposed and/or predicted in the land use plan. Any deviation in those variables result in inaccuracies in passenger demand for rail transit.

2-Construction, Cost and Income Risks: One of the most important problems that cause delay in the construction of rail system investments is financing. High rates of volatility in currency is a typical risk factor. Other reasons are the emergence of historical and archaeological finds during the excavation phase along the route, delays in getting administrative permits, difficulties in construction due to the ground properties, excessive precipitation and occupational accidents.

3- Risks Due to Restriction of Mobility: Epidemics are one of the factors that require quarantine measures and therefore cause a temporary decrease in urban mobility. While the pandemic is a highly effective problem that reduces number of passenger for short time periods, it can have long term effects on mobility pattern. Since the restrictions during the pandemic period in Istanbul vary according to months, weeks and days, 12-month average number of passengers were calculated and compared with those before-pandemic period. From January 2018 to December 2020 12-month average number of passengers reduced by 46% in rail transit.

4-Failures, Disruptions and Accidents at Rail Operation: Although there is limited data about cancellations due to accidents, malfunctions, safety, fire and

maintenance works in the operation of rail systems in İstanbul, passenger losses caused by these kind of problems can be calculated if sufficient data can be obtained.

Findings reveal that the most important risk factor is related to the changing land use and the spatial distribution of the population, employment, and other variables that influence travel demand.

Pandemics and similar problems, on the other hand, are in the risk group that is unlikely to occur but has very high rates of short-term effects. There may be various reasons which influence decreasing travel demand by route. Economic status of the population living around the rail transit routes, trip purpose of travelers and the accessibility and type of the stops (open/closed) may influence the occupancy rate of transit routes. If the change in travel behavior in the city (remote working, distance learning, e-commerce, increase in automobile use, etc.) continues after the pandemic, the expected rate of passenger demand for rail transit may not be achieved. Further detailed surveys and analysis is necessary to find out the effects of those factors.

Taking into account the various risk factors examined in this study, it is recommended to define the risk types, the probability of deviations/inaccuracies in the predictions, alternate scenarios and plans (B and C) can be developed for transportation master plans. It is recommended to include possible financial losses in both financial feasibility and cost-benefit studies.

Kaynakça/References

- Ayan, Y. (2018). *Raylı sistem projelerinde fizibilite raporlarının değerlendirilmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Babalık-Sutcliffe, E. (2016). Urban rail operators in Turkey: Organisational reform in transit service provision and the impact on planning, operation and system performance. *Journal of Transport Geography*, 54, 464-475.
- Baştürk F. (2014). *Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması*. (Yayımlanmamış Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi). Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.
- Bucsky, P. (2020). Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100141.
- Cats, O. (2016). The robustness value of public transport development plans. *Journal of Transport Geography*, 51, 236-246.
- Cats, O., ve Krishnakumari, P. (2020). Metropolitan rail network robustness. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 124317.
- Evren, G. (2001). İstanbul ulaştırmasının dünü, bugünü, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 413, 19-24

- Cirit, F. (2016). *Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması*. (Yayımlanmamış Uzmanlık Tezi). Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- Damat, A. ve Utlı Z. (2018). İstanbul metro istasyonlarında iş güvenlik uygulamaları. *Demiryolu Mühendisliği*, 8, 52-69.
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. K., ve Buhl, S. L. (2003). How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? *Transport reviews*, 23(1), 71-88.
- Fouracre, P. R., Allport, R. J., ve Thomson, J. M. (1990). *The performance and impact of rail mass transit in developing countries* (No. 78).
- Gkiotsalitis, K., ve Cats, O. (2021). Public transport planning adaption under the COVID-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions. *Transport Reviews*, 41(3), 374-392.
- Güneş, B. M. (2009). *Tarihi kent merkezlerinde metro yapımı ve arkeolojik değerleri koruma ilişkisi; İstanbul Tarihi Yarımada örneği*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) (2005). Kadıköy-Kartal metro hattı fizibilite raporu.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) (2006). Üsküdar-Ümraniye metro hattı fizibilite raporu.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) (2007a). 4. Levent-Hacıosman metro hattı fizibilite raporu.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) (2007b). Kabataş-Mahmutbey metro hattı fizibilite raporu.
- İBB (2021a). İstanbul Büyükşehir Belediyesi açık veri portalı hat bazlı yolculuk sayıları. 21 Temmuz 2021 tarihinde <https://data.ibb.gov.tr/dataset/rayli-sistemler-hat-bazli-yolculuk-sayilari/resource/d83e94d3-1b28-4c88-9d62-61502c28ea4c> adresinden erişildi.
- İBB (2021b). İstanbul Büyükşehir Belediyesi açık veri portalı raylı sistemler günlük aylık yıllık vagon kilometre bilgileri. 19 Haziran 2021 tarihinde <https://data.ibb.gov.tr/dataset/rayli-sistemler-gunluk-aylik-yillik-vagon-kilometre-bilgileri/resource/26eb037d-a54b-4c3b-9b3d-e6a4cd37ef39> adresinden erişildi.
- İBB (2021c). İstanbul Büyükşehir Belediyesi açık veri portalı raylı sistemler hat bazlı sefer sayıları. 19 Haziran 2021 tarihinde Raylı Sistemler Hat Bazlı Sefer Sayıları - Raylı Sistemler Hat Bazlı Sefer Sayıları - İBB (ibb.gov.tr) adresinden erişildi.
- İBB (2021d). İstanbul Büyükşehir Belediyesi açık veri portalı raylı sistemler günlük maksimum yolcu sayıları. 19 Haziran 2021 tarihinde <https://data.ibb.gov.tr/dataset/rayli-sistem-gunluk-maksimum-yolculuk-sayilari/resource/38f170b4-5746-4672-81b1-a75516712c2a> adresinden erişildi.
- İETT (2019). İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri, İstanbul'da toplu ulaşım bilgileri. 19 Haziran 2021 tarihinde

- <https://www.iETT.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95> adresinden erişildi.
- İUAP (2011), İstanbul Büyükşehir Belediyesi. İstanbul metropoliten alanı kentsel ulaşım ana planı.
- McDaniels, T., Chang, S., Cole, D., Mikawoz, J., ve Longstaff, H. (2008). Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, 18(2), 310-318.
- Metro İstanbul (2012). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2012.
- Metro İstanbul (2013). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2013.
- Metro İstanbul (2014). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2014.
- Metro İstanbul (2015). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2015.
- Metro İstanbul (2016). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2016.
- Metro İstanbul (2017). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2017.
- Metro İstanbul (2018). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2018.
- Metro İstanbul (2019). Metro İstanbul A.Ş. Faaliyet Raporu, 2019.
- Metro İstanbul (2021a). Metro İstanbul A.Ş. tarihçe. 19 Haziran 2021 tarihinde <https://www.metro.istanbul/Home/Tarihce> adresinden erişildi.
- Metro İstanbul (2021b). Metro İstanbul A.Ş. faaliyet raporları. 19 Haziran 2021 tarihinde https://www.metro.istanbul/icerik/faaliyet_raporlari adresinden erişildi.
- Metro İstanbul (2021c). Metro İstanbul A.Ş. yolcu istatistikleri. 19 Haziran 2021 tarihinde <https://www.metro.istanbul/yolcuhizmetleri/yolcuistatistikleri> adresinden erişildi.
- Metro İstanbul (2021d). Metro İstanbul A.Ş. duyurular. 19 Haziran 2021 tarihinde <https://www.metro.istanbul/Home/Duyurular> (Erişim tarihi: 21/7/2021).
- Miller, M., ve Szimba, E. (2015). How to avoid unrealistic appraisal results? A concept to reflect the occurrence of risk in the appraisal of transport infrastructure projects. *Research in Transportation Economics*, 49, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.04.007>
- MUAP (2018), Muğla Büyükşehir Belediyesi, Muğla ulaşım ana planı.
- Nicolaisen, M. S. (2012). *Forecasts: fact or fiction?: Uncertainty and inaccuracy in transport project evaluation*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Aalborg University, Aalborg, Danimarka.
- Ocak, İ. (2012). Metro kazılarında zor zemin şartlarında shaft inşası-Kadıköy-Kartal Metrosu örneği. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 20(2), 71-79.
- Özalp, M., ve Öcalır Akunal, E. V. (2008). Türkiye'deki kentçi ulaşım planlaması çalışmalarının değerlendirilmesi. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(2), 71-97.
- Özgür, Ö. (2011). Performance analysis of rail transit investments in Turkey: İstanbul, Ankara, İzmir and Bursa. *Transport Policy*, 18(1), 147-155.

- Pickrell, D. H. (1990). *Urban rail transit projects: Forecast versus actual ridership and costs* [October 1989] (No. UMTA-MA-08-9021-89-1). United States Urban Mass Transportation Administration.
- Ramjerdi, F., ve Fearnley, N. (2014). Risk and irreversibility of transport interventions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 60, 31-39.
- Salling, K. B., ve Leleur, S. (2017). Transport project evaluation: feasibility risk assessment and scenario forecasting. *Transport*, 32(2), 180-191.
<https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1063003>
- Sartori, D., Catalano, G., Genco, M., Pancotti, C., Sirtori, E., Vignetti, S., ve Bo, C. (2014). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. 21 Temmuz 2021 tarihinde https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf adresinden erişildi.
- Severo, M., Ribeiro, A. I., Lucas, R., Leão, T., ve Barros, H. (2021). Urban rail transportation and SARS-Cov-2 infections: An ecological study in the Lisbon Metropolitan Area. *Frontiers in Public Health*, 9, 20.
(<https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.611565>).
- Şen, O. S. (2015). *Kentçi raylı sistemlerde hat bakımlarının planlanması, yönetimi ve risk değerlendirmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- TCDD Taşımacılık (2019) TCDD Taşımacılık A.Ş. 2019 yılı faaliyet raporu. 19 Haziran 2021 tarihinde <https://www.tcddtasimacilik.gov.tr/uploads/images/Strateji/TCDD-Tasimacilik-2019-Faaliyet-Raporu.pdf> adresinden erişildi.
- Tekeli, İ. (1992). Yüzelli yılda toplu ulaşım. *İstanbul Dergisi*, 2, 18-27.
- Tirachini, A., ve Cats, O. (2020). COVID-19 and public transportation: Current assessment, prospects, and research needs. *Journal of Public Transportation*, 22(1), 1.
- TÜİK (2013-2018) Türkiye İstatistik Kurumu. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi, 2013-18 dönemi ilçeler arası göç istatistikleri.
- TÜİK (2018) Türkiye İstatistik Kurumu. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi, 2018
- UPI (2011). İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir ulaşım ana planı, 2030.
- Wang, X., Koç, Y., Derrible, S., Ahmad, S. N., Pino, W. J., ve Kooij, R. E. (2017). Multi-criteria robustness analysis of metro networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 474, 19-31.