



Use of pedestrian simulation technologies in urban planning and architectural design process

Şehir planlama ve mimari tasarım sürecinde yaya simülasyonu teknolojilerinin kullanımı

Cem Kırlangıçoğlu¹
Mehmet Fatih Döker²

Abstract

Urban planners and architects have used different design criteria by following project processes different from each other through the ages. The common point of all these projects has been functionality which is one of the most important criteria for human based design. Aesthetics, beauty and similar terms may be arguable but a non-functional spatial design must not be accepted. All spaces, cities, squares, parks, roads and buildings are designed for people. If these urban structures are not suitable for them, people will have serious problems in terms of general circulation. Therefore, ergonomics and functionality terms must be the basic design criteria of all human based urban planning and architectural design processes. How may it be possible to understand an urban design project or a building is functional before constructing it? The aim of this article is to explain the benefits of pedestrian simulation technologies through the design processes in both theoretical and practical frameworks on a case study area which is an underground metro station. A capacity analysis and circulation assessment has been carried out on the metro station by using Massmotion pedestrian simulation software.

Özet

Geçmişten günümüze şehir planlama ve mimarlık alanında gerçekleştirilen çalışmalarda çeşitli tasarım kriterleri kullanılmış, birbirinden farklı planlama süreçleri izlenmiştir. İnsanların kullanımına yönelik gerçekleştirilen hemen hemen tüm çalışmaların en önemli ortak noktası ise 'kullanışlılık' olmuştur. Estetik, güzellik ve benzeri göreceli kavramlar tartışılabilir olmakla birlikte, insanların kullanımı için tasarlanan bir yapının fonksiyonel olmaması inşa sonrasında ciddi bir sorun teşkil edecektir. Planlanan kentler, meydanlar, yollar, yapılar kullanışlı olmadığı takdirde kullanıcılar sirkülasyon anlamında sıkıntılar yaşayacaklardır. Bu nedenle gerçekleştirilen tüm şehir planlama ve mimarlık çalışmalarında hem ergonomi hem de kullanışlılık konusuna çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Peki, kentsel tasarımı yapılan bir proje alanının ya da mimarlar tarafından tasarlanan bir yapının fonksiyonel olup olmadığı daha inşa edilmeden nasıl anlaşılabilir? Bu çalışmanın amacı, son yıllarda gelişen yaya simülasyonu teknolojilerinin mimarlık ve planlama alanındaki projelerin tasarım değerlendirme süreçlerinde kullanımının yararlarını hem teorik açıdan ortaya koymak hem de gerçekleştirilen örnek bir uygulama üzerinde göstermektir. Çalışma kapsamında bir

¹ Asst. Prof. Dr., Sakarya University, Faculty of Art, Design and Architecture, Department of Urban & Regional Planning, kirlangicoglu@sakarya.edu.tr

² Asst. Prof. Dr., Sakarya University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Geography, fdoker@sakarya.edu.tr

Keywords: Pedestrian simulation; Metro station; Capacity analysis; Human based design; Architecture.

[\(Extended English summary is at the end of this document\)](#)

metro istasyonuna ilişkin mimari çizimler üzerinden kapasite analizi gerçekleştirilmiş, sirkülasyon açısından değerlendirme yapılmıştır. Yaya simülasyonu kapsamında gerekli analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla Massmotion yazılımı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaya simülasyonu; Metro istasyonu; Kapasite Analizi; İnsan odaklı tasarım; Mimarlık.

1. Giriş

Gelişen simülasyon teknolojilerinin şehir planlama ve mimari tasarım süreçlerinde kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. “Simülasyon, diğer adıyla benzetim, teorik ya da fiziksel gerçek bir sistemin bilgisayar ortamında modellenildikten sonra bu model ile sistemin işletilmesi amacıyla yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi, bu sistemlerin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir” (Kırbaş, 2013, s. 1). Dolayısıyla şehir planları, kentsel tasarım projeleri, ulaşım düzenlemeleri, mimari tasarımlar vb. pek çok çalışma hayata geçirilmeden önce 3 boyutlu olarak modellenerek bilgisayar ortamında görüntülenebilir, erişilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından test edilebilir. Bu testler neticesinde varsa, tasarımdaki hatalar gözlenebilir ve düzeltilebilir. Günümüz mimari tasarım süreçlerinde, özellikle de çok fonksiyonlu, karmaşık ve yoğun kullanıma sahip yapılarda disiplinler arası çalışmaların ön plana çıktığı görülmektedir (Eceoğlu, 2012, s. 89). Yapı Bilgi Modelleme (YBM) teknolojilerinin de giderek yaygınlaşmasıyla mimarlar, inşaat mühendisleri, elektrik mühendisleri, makine mühendisleri vb. ilgili meslek grupları tasarım sürecinde ortak hareket edebilir hale gelmişlerdir. YBM; herhangi bir projenin mimari tasarım süreci ile inşaat ve işletme süreçlerini de içine alan, koordineli, güvenilir ve farklı disiplinlerin bir arada çalışabilmesini sağlayan bütünlüklü bir sistemdir (Strafaci, 2008, s. 62). Bu sistemler sayesinde süreçler hızlanmış, hatalar azalmıştır. Zaman ve maliyet açısından ciddi tasarruflar elde edilmiştir.

Yaya Simülasyonu teknolojilerinin de bu tasarım süreçlerine entegre edilmesi ile tüm mekanlar yapı tasarım ve inşaat aşamasında kullanılabilirlik açısından test edilebilir hale gelmiştir. Yayaların tasarlanan proje içerisinde sergileyecekleri bireysel davranışlarının, diğer insanlarla ve yapılaşmış çevre ile olan ilişkileri bağlamında analiz edilip görselleştirilmesi de bu noktada önem arz eder. Bu davranışların öngörülmesi farklı algoritmalara sahip üç boyutlu simülasyon yazılımları sayesinde sağlanmaktadır. Bu yazılımlarda tüm bireyler kendilerine sunulan mimari tasarım ve dinamik çevre içerisinde önceden belirlenmiş güzergâhlardan bağımsız olarak kendi bireysel tercihlerine göre hareket etmektedirler. Bu noktada en önemli ve en zor konu, yolcuların mimari yapı içerisinde hareket ederken yapacakları güzergâh tercihlerini tahmin edebilecek algoritmayı geliştirebilmektir (Hoogendoorn & Bovy, 2004, s. 170). Dolayısıyla simülasyon çalışmalarında uluslararası kabul görmüş, geçerliliği ispat edilmiş ve sonuçları güvenilir olan yazılımların tercih edilmesi tasarım değerlendirme süreci açısından önemlidir.

Simülasyon teknolojileri şehir plancılarına, mimarlara ve mühendislere tasarımlarını bilgisayar ortamında test etme fırsatı sunmaktadır. Projelerinin fonksiyonelliğine dair niceliksel ve niteliksel çıktılar sağlayarak projenin iyileştirilmesine katkı sunmaktadırlar. Simülasyon neticesinde ortaya çıkan sonuçlar uzman kişiler tarafından doğru şekilde yorumlandığı takdirde, tasarım hataları inşaat öncesinde fark edilebilecek ve gerekli revizyonlar yapılabilecektir. Böylelikle ortaya çok daha verimli, kullanışlı ve güvenli yapılar çıkacaktır. Günlük hayatta, özellikle diğer insanlar ile birlikte kullandığımız kamusal alanlarda, planlama ve tasarım kaynaklı hatalar çok sayıda insanın günlük hayat akışını olumsuz etkilemektedir. Havaalanı, stadyum, alışveriş merkezi, metro istasyonu vb. yapılar her gün on binlerce insan tarafından kullanılmaktadır. Bu tip mekânlarda yapının inşası

sonrası ortaya çıkabilecek ve geri dönülemeyecek tasarım hataları, kullanıcılara hem zaman hem de konfor kaybı olarak geri dönecek, aynı zamanda geri kazanılması mümkün olmayan kaynak kayıplarına yol açacaktır. Günlük 100.000 yolcu tarafından kullanılan bir metro istasyonunda trene erişimi kısıtlayacak şekilde konumlandırılmış kolonlar, sayı olarak yetersiz turnikeler, zirve saatlerdeki yolcu talebini karşılayamayan yürüyen merdivenler her bir yolcu için önemli zaman kaybına neden olur. Bu tip tasarım hataları normal işletme senaryosunda sadece zaman ve konfor kaybına sebebiyet verebilirken, acil durum işletme senaryosunda ise daha ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Metro istasyonunda olası bir yangın anında 4 dakikada boşaltılması gereken platform katının, yetersiz ya da kullanışsız acil çıkış merdivenleri sebebiyle zamanında boşaltılamaması durumunda, çok sayıda can ve mal kaybı söz konusu olacaktır. Yer altı metro istasyonlarındaki yolculu alanların sorunsuz bir şekilde kullanımının sağlanması, bu alanların ergonomi ve fonksiyonellik ölçütlerine uygun tasarlanmasına ve uygulanmasına bağlıdır (Maden & Avlar, 2017, s. 14). İstasyonlarda istenmeyen durumların oluşmasını engellemek adına, bu tip yapılar mimari tasarım sürecinde, normal işletme ve acil durum senaryoları bilgisayar ortamında simüle edilmelidir. Böylelikle kapasite analizleri çok daha sağlıklı bir şekilde yapılabilir, tasarımdaki mimari erişilebilirliği kısıtlayan hatalar önceden görülebilir ve gerekli revizyonlar yapılarak projeye son hali verilebilir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak 9 istasyonlu bir metro hattında yer alan bir yer altı metro istasyonu seçilmiştir. Her ne kadar tasarım aşamasındaki bir proje de olsa, istasyona ait planların gizliliğini korumak adına çalışma alanı, metro hattı ve istasyon adı saklı tutulmuştur. Bu örnek çalışmada kullanılan teknikler, materyal, yöntem, ulusal ve uluslararası standartlar benzer çalışmalar için de uygulamalı bir referans kaynağı olacaktır.

2.2. Materyal

Çalışma alanı olarak seçilen metro istasyonuna ait kesit, plan, görünüş vb. CAD çizimleri ve 3 boyutlu istasyon modeli REVIT formatında ilgili idareden temin edilmiştir. Bunlara ek olarak, idare tarafından hesaplanan ve istasyonun 20 yıllık projeksiyon sonucunda elde edilen zirve saat yolculuk değerleri, yolcu hareketlerinin simülasyonunda kullanılmıştır.

2.3. Yöntem

Çalışmada yolcu hareketlerinin ve rota seçiminin 3 boyutlu sanal mekanlarda davranışsal profiller kullanılarak öngörülmesi amacıyla birey tabanlı (agent-based) simülasyon algoritması kullanılmıştır. Literatür taraması neticesinde, 2018 yılı itibarıyla bu alanındaki en gelişmiş 3 boyutlu yaya simülasyonu yazılımlarından biri olan Massmotion tercih edilmiştir. Bu yazılımda, tasarlanan mekana giriş ve çıkış yapacak kullanıcı sayıları sisteme girilerek 3 boyutlu mekan tasarımı kapasite ve sirkülasyon açısından test edilebilmektedir (Rivers & Jaynes, 2011, s. 12). Değerlendirme aşamasında bireyler mekânsal olarak analiz edildiği gibi diğer bireylerle olası etkileşimlerinden yola çıkılarak, mekânı kullanan tüm bireylerin ilk hareket noktasından son varış noktasına kadar gerçekleştireceği davranışlar da simüle edilmektedir (King, Srikuenthiran, & Shalaby, 2013, s. 9). Tek bir bireyin tasarlanan bir mekânda nihai hedefine varana kadar izleyeceği yol, yürüyeceği koridor, bineceği asansör, kullanacağı yürüyen merdiven deneyimli bir mimar tarafından simülasyona gerek kalmadan da kabaca tahmin edilebilir. Fakat aynı mekânı aynı anda kullanan binlerce bireyin hareketi öngörülme istendiğinde, bireyler sadece mimari objelerle değil diğer bireyler ile de etkileşim halinde olacaklardır. Bu ve benzeri karmaşık sirkülasyon sorunlarının çözümünde Massmotion yazılımının Sosyal Kuvvetler Algoritması (Helbing & Molnar, 1998, s. 6) devreye girmekte ve bireylerin hareketlerinin analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu model, bireyleri fiziki ve sosyal faktörler ile etkileşime sokarak çıkış noktasından varış noktasına ulaşmaya çalışan, karşılaştığı durumlara göre

kendi kararını kendi veren dinamik objeler olarak ele almaktadır (Rivers, Jaynes, Kimball, & Morrow, 2014, s. 123). Bireylerin kalabalık içindeki güzergâh seçimleri; gerçekleştirilen mesafe analizleri, kalabalık içindeki muhtemel sıkışıklık durumu ve bekleme süresi gibi faktörler göz önüne alınarak ortaya konmaktadır (Bateman, Laspa, & Morrow, 2007, s. 10). Tüm faktörler bir arada değerlendirildikten sonra en uygun yol seçilmekte ve bireyler hedeflerine doğru ilerlemektedir. Her bir birey tarafından ayrı ayrı gerçekleştirilen bu zamansal ve mekânsal maliyet hesabına ilişkin basitleştirilmiş formül aşağıdaki gibidir (Rivers, Jaynes, Kimball, & Morrow, 2014, s. 124).

$$\text{Maliyet} = W_D \cdot (D_G/V) + W_Q \cdot Q + W_L \cdot L \quad (1)$$

W_D : Ağırlıklı Mesafe

D_G : Toplam Mesafe (Bireyin bulunduğu noktadan nihai hedefine kadar olan mesafesi)

V : Bireyin öngörülen hızı

W_Q : Kuyruklanmanın Ağırlık Derecesi

Q : Kuyrukta Geçirilecek Olan Süre

W_L : Ağırlıklı Bağlantı Seçimi

L : Bağlantı Tipi Maliyeti (sabit merdiven, yürüyen merdiven, asansör, rampa vb.)

2. Metro İstasyonu Yolcu Simülasyonu

Seçilen metro istasyonunun konumu gereği sabah ve akşam zirve saatlerde ciddi bir yolcu yoğunluğuna sahip olacağı idare tarafından yapılan projeksiyon çalışması ile ortaya konmuştur (Tablo 1). Bu nedenle istasyonda yolcu hareketlerinin ve olası problemlerin öngörülebilmesi için yolcu simülasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu sayede istasyonun öngörülen yüksek kapasiteye cevap verip veremeyeceği, hangi katların hangi bölümlerinde ne gibi tasarım sorunları ile karşılaşabileceği anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu çalışma; henüz tasarım aşamasındaki bir yer altı metro istasyonu için gerçekleştirilen yolcu simülasyonu ve kapasite analizi çalışmasının sonuçlarını içermektedir. Proje kapsamında, istasyon tasarımı öncelikle yolcu sirkülasyonu açısından değerlendirilmiş ve zirve saat normal işletme senaryosuna göre analiz edilmiştir. Metro hattındaki tüm istasyonlar için öngörülen zirve saat yolculuk değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Metro Hattı Zirve Saat Yolculuk Değerleri

İSTASYON ADI	A İstasyonundan Z İstasyonuna Doğru				Z İstasyonundan A İstasyonuna Doğru				Saatlik İstasyon Yüğü	Ortalama İstasyon Yüğü
	Binen Yolcu Sayısı	İnen Yolcu Sayısı	Trendeki Saatlik Yolcu	Her Trendeki Ortalama Yolcu	Binen Yolcu Sayısı	İnen Yolcu Sayısı	Trendeki Saatlik Yolcu	Her Trendeki Ortalama Yolcu		
A (İlk İst.)	9,645	0	0	0	0	3,59	3,59	224	13,236	827
B	1,043	1,27	9,645	603	1,863	176	1,903	119	14,455	903
C	222	21	9,419	589	11	135	2,026	127	11,678	730
D	3	742	9,619	601	26	33	2,032	127	11,681	730
E	1,324	2,378	8,88	555	1,207	825	1,65	103	13,061	816
F	6	3,728	7,826	489	99	10	1,56	98	9,491	593
G	209	3,27	4,104	257	1,298	1,217	1,48	92	7,09	443
H	7	462	1,043	65	360	34	1,154	72	2,563	160
Z (Son İst.)	0	588	588	37	1,154	0	0	0	1,741	109

Metro hattı içerisindeki istasyonlardan yolcu yükü en fazla olan istasyonlardan birinin simülasyonu için daha uygun olacağı düşünülmüş ve metro hattındaki istasyonlar arasından E istasyonu örnek çalışma alanı olarak seçilmiştir. İstasyonda sirkülasyona dâhil olacak yolcu sayısını belirlemek adına ‘istasyona dışarıdan gelerek bu istasyondan trene binen’ ve ‘trenle başka bir istasyondan gelerek bu istasyonda trenden inen’ yolcu sayıları belirlenmiştir. Üç dakikalık sefer aralığı ile gelen her trenden

inen ve binen ortalama yolcu sayısının bulunabilmesi için toplam yolcu sayısı, sefer aralığı ve zirve saat faktörü dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. İnen yolcu sayısını bulabilmek için kullanılan eşitlik şu şekildedir:

$$O_iYS = TYS * SA/60 * ZsF \quad (2)$$

O_iYS: Ortalama İnen Yolcu Sayısı

TYS: Toplam Yolcu Sayısı

SA: Sefer Aralığı

ZsF: Zirve Saat Faktörü (TS 12127 / 1.2.6.2 gereğince 1,25 olarak kabul edilmiştir)

Bu formüle göre hesaplanan ve zirve saatte E istasyonunda trenden inen yolcu sayılarını gösteren dağılım Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Zirve Saatte E İstasyonunda Trenden İnen Yolcu Sayılarının Dağılımı

'E' İstasyonu	A-Z Yönü	Z-A Yönü
Zirve Saatte Trenden İnen Toplam Yolcu Sayısı	2972	1031
Her Trenden İnen Ortalama Yolcu Sayısı	149	52

Binen yolcu sayısını bulabilmek için kullanılan eşitlik ise şu şekildedir:

$$O_bYS = TYS * SA/60 * ZsF \quad (3)$$

O_bYS: Ortalama Binen Yolcu Sayısı

TYS: Toplam Yolcu Sayısı

SA: Sefer Aralığı

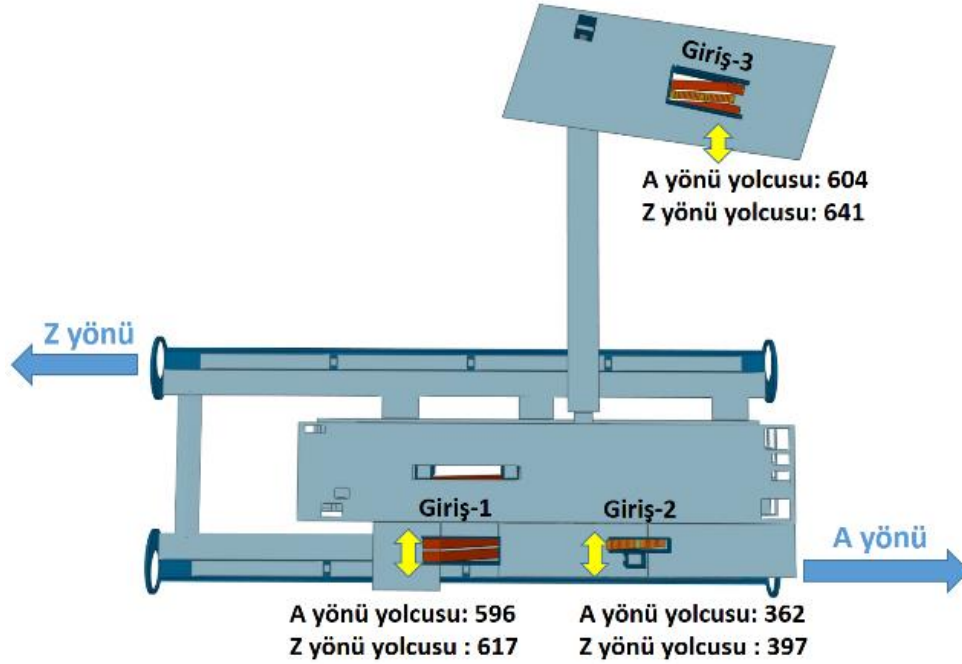
ZsF: Zirve Saat Faktörü (1,25)

Bu formüle göre hesaplanan ve zirve saatte E istasyonundan trene binen yolcu sayılarını gösteren dağılım Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Zirve Saatte E İstasyonundan Trene Binen Yolcu Sayılarının Dağılımı

E - İstasyonu	A-Z Yönü	Z-A Yönü
Zirve Saatte Trene Binen Toplam Yolcu Sayısı	1655	1508
Her Trene Binen Ortalama Yolcu Sayısı	83	75

İstasyon tasarımında, trene binmek üzere E istasyonuna giriş yapacak yolcular için 3 giriş bölgesi planlanmaktadır. Bu 3 giriş bölgesinin kullanım oranları İdare tarafından buldukları lokasyona ve yakın çevrelerdeki arazi kullanım türlerine göre belirlenmiş ve toplam yolcu sayısı bu 3 girişe oransal olarak dağıtılmıştır. Buna göre E istasyonundan Z yönüne gidecek 1655 yolcunun %37'sinin Giriş-1'i, %24'ünün Giriş 2'yi, %39'unun ise Giriş 3'ü kullanacağı öngörülmüştür. E istasyonundan A yönüne gidecek 1508 yolcunun ise %36'sının A Girişini, %24'ünün B Girişini, %40'ının ise C Girişini kullanacağı öngörülmüştür. Zirve saatte istasyonu kullanacağı öngörülen yolcu sayılarının girişlere göre dağılımı istasyon vaziyet planı üzerinde gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Zirve Saatte İstasyona Giren Yolcu Sayılarının Girişlere Göre Dağılımı

Öngörülen değerlerin 3 boyutlu bir yolcu simülasyonu yazılımı kullanılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle Revit formatında tasarlanan istasyon mimarisi IFC formatına dönüştürülmüş ve çalışma için seçilen Massmotion simülasyon yazılımına aktarılmıştır. Daha önce de bahsedildiği üzere MassMotion, yayaların bireysel davranışlarını diğer insanlarla ve yapılaşmış çevre ile olan ilişkisi bağlamında analiz edip görselleştirmeyi sağlayan birey temelli bir simülasyon yazılımıdır (Morrow, 2010, s. 38). Üç girişten giren yolcular metro hattında A ve Z yönü olmak üzere iki değişik yöne gitme şansına sahiptirler. Dolayısıyla 3 giriş için toplamda 6 adet yolcu sayısı girişi yazılımın arayüzünde yapılmıştır. Öngörülen yolculuk değerleri doğrultusunda, yolcular istasyona girerek ilk olarak bir alt kattaki bilet holüne ve konkors katına, daha sonra bir alt kattaki balkon katına, son olarak da en alta bulunan platform katına geçiş yapacaklardır. Platforma inen yolcular A ya da Z yönüne gitmek üzere peronlara dağılacaklardır. Bu sırada trenlerden inen yolcular ile platform katına gelen yolcular burada karşılaşacaktır. Bu karmaşık sistem içerisinde birbirinden farklı yerlere doğru hareket halinde olan yolcuların birbirinden görsel olarak ayrıştırılabilmesi için tüm yolcu profilleri farklı renkler ile temsil edilmişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Güzergâhlarına Göre Renklendirilen Yolcu Tipleri

3. Bulgular

Elde edilen simülasyon sonuçları doğrultusunda, zirve saatte E istasyonunu kullanacak olan yolcuların deneyimleyeceği “Hizmet Seviyesi” öngörülmüştür. Hizmet seviyesi (HS), yolcu deneyimlerine dayanan bir veya daha çok tesisin hizmet kalite ve durumlarını temsil etmektedir. Metro istasyonunu kullanacak yolcuların istasyona girdikleri andan trene binip istasyonu terk ettikleri ana kadarki süreyi kapsar. Bu süre içinde yolcuların bilet holüne varış süresi, bekleme zamanı, işlem zamanı, yürüme süresi, peronda bekleme süresi vb. parametrelerin yolcuların yaşadığı yoğunluklar, gecikmeler, sıkışıklıklar vb. faktörlerle karşılıklı olarak ilişkilendirilerek hizmet seviyesinin düzeyi belirlenmektedir. Hizmet seviyesini belirlemek için Fruin Hizmet Seviyesi Standartları kullanılmıştır (Şekil 3). Bu standartlara göre HS=A (en iyi)’den HS=F (kabul edilemez)’e kadar olan bir değerlendirme sistemi kullanılmaktadır. Zirve saatlerindeki yolcu sirkülasyonları için A, B, C, D seviyeleri kesinlikle kabul edilebilir, E seviyesi yolcu kapasitesi yüksek istasyonlar için kabul edilebilir, F seviyesi ise kesinlikle kabul edilemez değerler olarak belirlenmiştir (Fruin, 1987, s. 1).

Koridorlar İçin Hizmet Seviyesi Standartları	HS	Yoğunluk (kişi / m ²)	Alan (m ² / kişi)	Renk
	A	$x \leq 0.309$	$x \geq 3.24$	
	B	$0.309 < x \leq 0.431$	$3.24 > x \geq 2.32$	
	C	$0.431 < x \leq 0.719$	$2.32 > x \geq 1.39$	
	D	$0.719 < x \leq 1.075$	$1.39 > x \geq 0.93$	
	E	$1.075 < x \leq 2.174$	$0.93 > x \geq 0.46$	
	F	$2.174 < x$	$0.46 > x$	
Merdivenler İçin Hizmet Seviyesi Standartları	HS	Yoğunluk (kişi / m ²)	Alan (m ² / kişi)	Renk
	A	$x \leq 0.541$	$x \geq 1.85$	
	B	$0.541 < x \leq 0.719$	$1.85 > x \geq 1.39$	
	C	$0.719 < x \leq 1.076$	$1.39 > x \geq 0.93$	
	D	$1.076 < x \leq 1.539$	$0.93 > x \geq 0.65$	
	E	$1.539 < x \leq 2.702$	$0.65 > x \geq 0.37$	
	F	$2.702 < x$	$0.37 > x$	
Platform vb. Bekleme Alanları İçin Hizmet Seviyesi Standartları	HS	Yoğunluk (kişi / m ²)	Alan (m ² / kişi)	Renk
	A	$x \leq 0.826$	$x \geq 1.21$	
	B	$0.826 < x \leq 1.075$	$1.21 > x \geq 0.93$	
	C	$1.075 < x \leq 1.538$	$0.93 > x \geq 0.65$	
	D	$1.538 < x \leq 3.571$	$0.65 > x \geq 0.28$	
	E	$3.571 < x \leq 5.263$	$0.28 > x \geq 0.19$	
	F	$5.263 < x$	$0.19 > x$	

* HS: Hizmet Seviyesi

Şekil 3. Fruin Hizmet Seviyesi Standartları

Hizmet seviyesi standartları yolcuların o anda kullandıkları alana özel olarak belirlenmektedir. Bu nedenle; yolcuların yürüme eyleminde bulunduğu koridor vb. alanlar için tanımlanan standartlar ile hareketsiz durma ya da bekleme eyleminde buldukları merdiven, platform vb. alanlar için tanımlanan standartlar birbirinden farklılaşmaktadır.

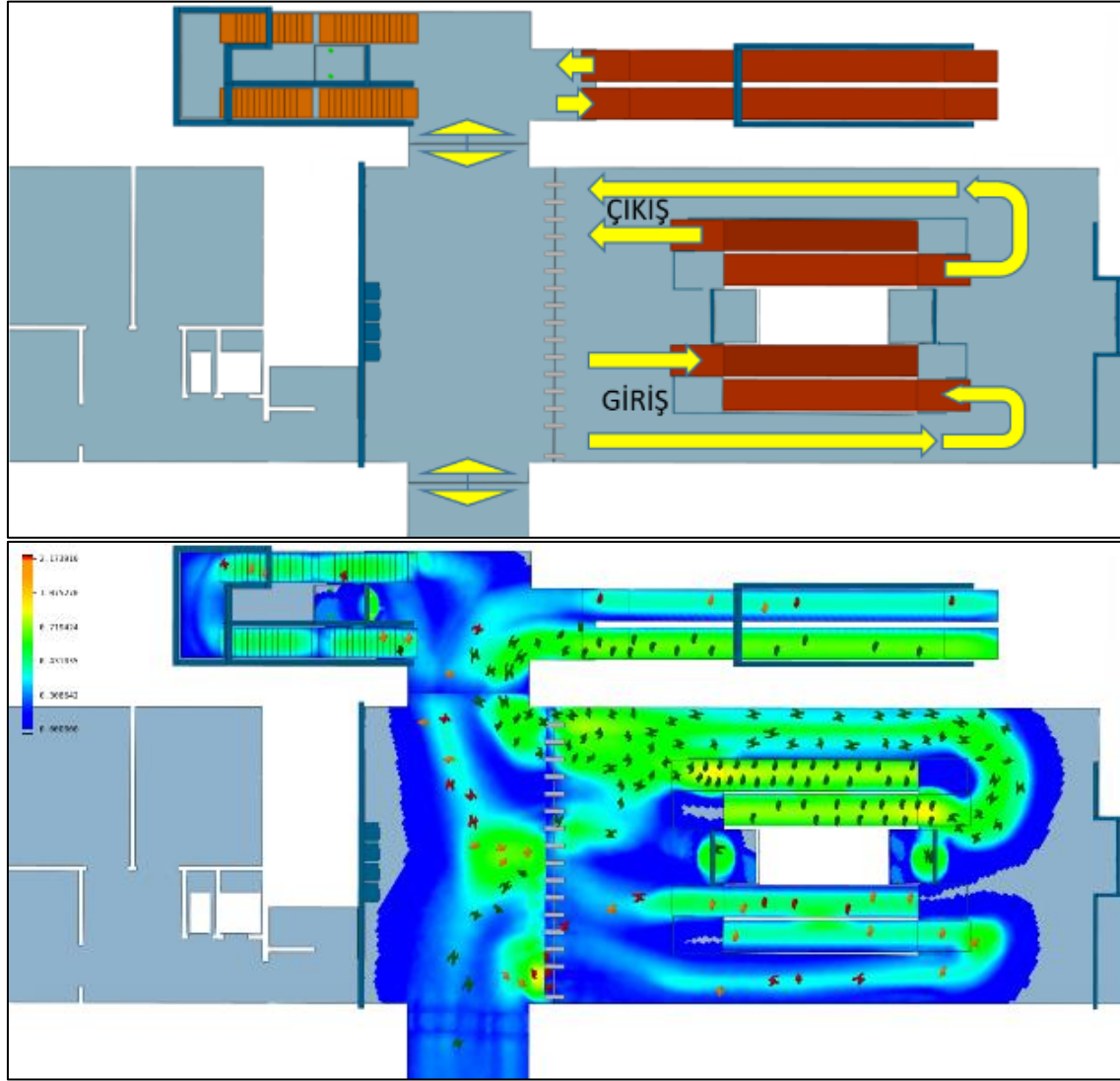
Yolcu simülasyonunun gerçekleştirilebilmesi ve Hizmet Seviyesinin belirlenebilmesi için öncelikle bazı ön kabullerin yapılması gerekmektedir. Türkiye’deki metro projelerinin istasyon kapasite hesaplarında da sıklıkla kullanılan bu ön kabuller genel olarak ulusal ‘Şehirçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 1: Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları’ (Türk Standartları Enstitüsü, 1997, s. 2) ve uluslararası ‘Sabit Hatlı Raylı Toplu Taşıma Sistemleri için Standart’ (National Fire Protection Association, 2016, s. 2) standartlarından yola çıkılarak hazırlanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Yolcu Simülasyonunda Kullanılan Değerler ve Ön Kabuller

Araç Kapasitesi	270	kişi/araç
Vagon Sayısı	4	
Zirve Saat Sefer Aralığı	3	dk
Zirve Saat Faktörü	1,25	
Peron Kapasitesi (Normal)	0,5	m ² /kişi
Peron Kapasitesi (Kalabalık)	0,2	m ² /kişi
Bilet Holü Kapasitesi	1	m ² /kişi
Yolcuların Yürüme Hızı (Peron, Koridor, Rampa)	38	m/dk
Yolcuların Yürüme Hızı (Konkors)	61	m/dk
Yolcuların Yukarı Yönde Yürüme Hızı	15	m/dk
Yürüyen Merdiven Kapasitesi (Normal Durum)	100	kişi/dk
Yürüyen Merdiven Kapasitesi (Acil Durum)	75	kişi/dk
Acil Durum Merdiven Kapasitesi (Yukarı Yönde)	55,5	kişi/dk/m
Acil Durum Merdiven Kapasitesi (Aşağı Yönde)	72	kişi/dk/m
Normal Durum Merdiven Kapasitesi (Çift Yön)	28	kişi/dk/m
Normal Durum Merdiven Kapasitesi (Tek Yön)	35	kişi/dk/m
Turnike Kapasitesi (Kollu – Giriş)	25	kişi/dk
Turnike Kapasitesi (Kollu – Çıkış)	50	kişi/dk
Acil Kaçış Kapısı Geçiş Kapasitesi	50	kişi/dk/m
Engelli Kapısı Geçiş Kapasitesi	89	kişi/dk/m
Servis Kapısı Geçiş Kapasitesi	89	kişi/dk/m

Bu değerler ve ön kabuller kullanılarak, Massmotion yazılımında 3 boyutlu yolcu simülasyonu çalışması gerçekleştirilmiş ve görsel çıktıları aşağıda yorumlanmıştır. Sonuçları verilen simülasyon çalışması istasyon tasarımının ilk hali üzerinden değil, revize edilmiş son hali üzerinden gerçekleştirilmiştir. İstasyonun ilk hali üzerinde simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sorunlu bölgeler mimari açıdan revize edilerek bu son hali ortaya çıkmıştır. Çalışmanın ana konusunu teşkil etmediği için, bu uzun revizyon sürecine bu makale kapsamında yer verilmemiştir.

Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için, öncelikle her kattaki yaya sirkülasyonu şematik olarak gösterilmiş, ardından ortalama yoğunluk analizi sonuçları paylaşılmış ve son olarak ta yoğunluk analizi ile yaya akışı aynı haritada birleştirilmiştir. Tüm katlar için gerçekleştirilen simülasyon çalışması sonucunda, istasyona giriş ve istasyondan çıkış bölgelerinde herhangi bir soruna rastlanmamıştır. Bu bölgelerde sirkülasyon ve yaya akışı son derece rahattır. Simülasyon platformunda oluşturulan istasyon mimarisinde yürüyen merdivenler kırmızı renk, sabit merdivenler turuncu renk, sirkülasyon alanları ve tüm koridorlar açık mavi renk, turnikeler de gri renk ile ifade edilmişlerdir (Şekil 4).



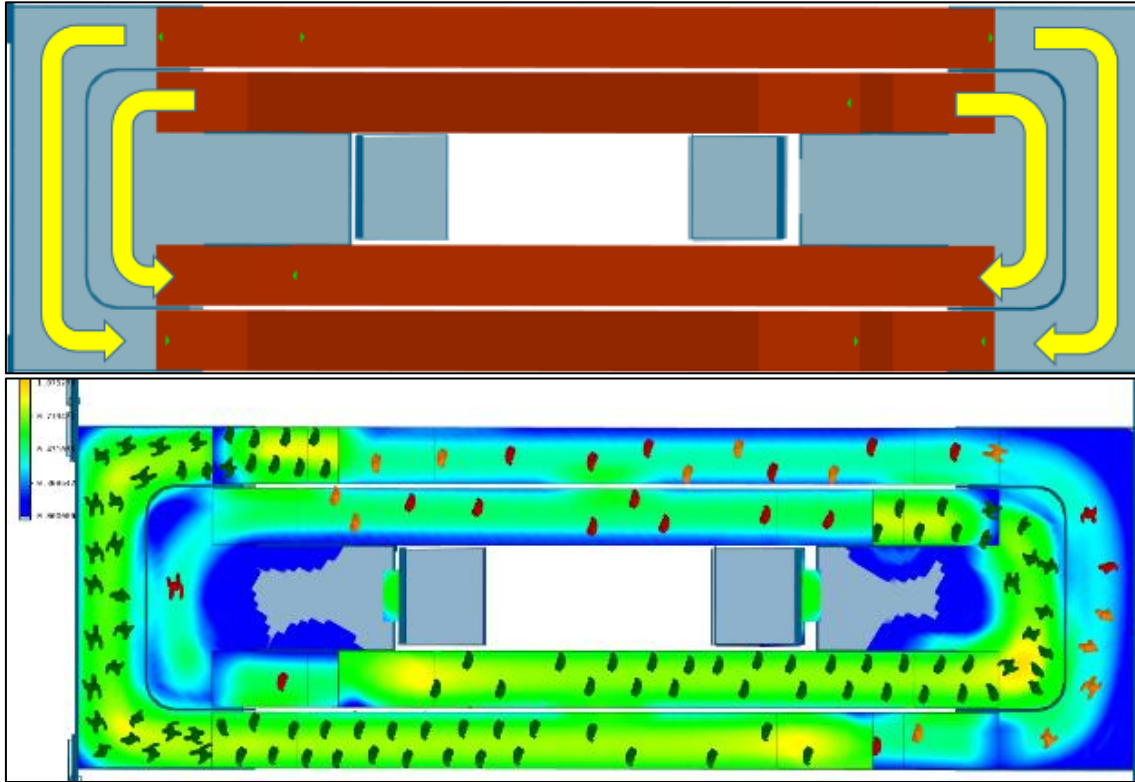
Şekil 4. Konkors Katı Yolcu Simülasyonu Sonucu

Konkors Katı Yolcu Simülasyonu sonuçları incelendiğinde görülmektedir ki;

- Bu katta yolcu yoğunluğu ve sirkülasyon açısından bir sorun bulunmamaktadır.
- Yolcular konkors katına son derece iyi dağılmışlardır ve bu durum belli bölgelerde sıkışıklık olmasını önlemiştir.
- İstasyonun ilk tasarımında yer alan ve sirkülasyon sorunlarına yol açan bilet holündeki güvenlik kulübesi mimari tasarım ekibi tarafından kaldırılmış ve buna ek olarak turnike sayıları artırılmıştır. Simülasyonda görülen istasyon, projenin revize olmuş son halidir.
- Hem giriş hem de çıkış turnikelerinin sayısındaki artış, turnike bölgesinde oluşabilecek muhtemel yığılmaları engelleyerek sirkülasyonun rahatlamasını sağlamıştır.
- Aynı zamanda, bilet holü ile giriş bölgeleri arasındaki bağlantıyı sağlayan dar koridorlar ve turnike giriş çıkış bölgeleri genişletilmiş, bu da simülasyon sonuçlarına olumlu anlamda ciddi katkılar sağlamıştır.
- U dönüşü gerektiren yürüyen merdiven bağlantıları çok yüksek yoğunluklu istasyonlarda sorun teşkil etmekle birlikte, istasyon için öngörülen yolculuk değerleri bu bölgelerde de sorun olmayacağını göstermektedir.
- Asansörlerin konumu ve sayısı yeterlidir.

- İstasyona giriş ve çıkış sağlayan yürüyen merdivenler ile sabit merdivenler yolcu sayısını sorunsuz şekilde karşılayacak ve yeterli hizmet seviyesini sağlayacak düzeydedirler.

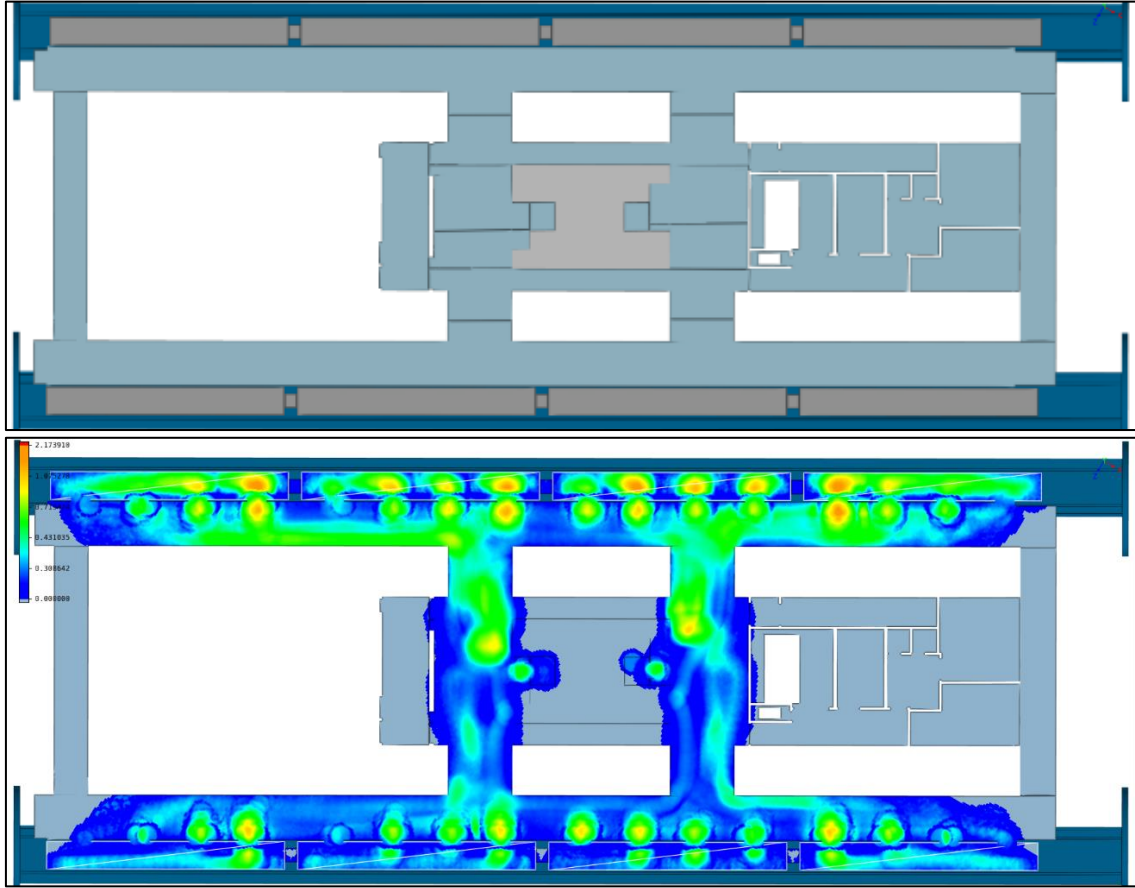
Konkors katının bir altında balkon katı yer almaktadır. Bu kat gelen ve giden yolcular için platform ile konkors katı arasında bağlantıyı sağlamaktadır. İstasyonun ilk tasarımında yer alan dar koridor genişletilmiş; ardından da merdiven düzeni ve çok dar alanda gerçekleştirilen sorunlu U dönüşleri düzelterek tasarım son halini almış ve simülasyon çalışmasına altlık teşkil etmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Balkon Katı Yolcu Simülasyonu Sonuçları

Balkon katına ait simülasyon sonuçları, bu katta yolcu yoğunluğu ve sirkülasyonu açısından herhangi bir problem olmadığını göstermektedir. İstasyon tasarımındaki revizyonların ardından, yolcuların dar alanda U dönüşü yapmasını engelleyen ve çok dar bir koridordan geçmesini gerektiren koşullar ortadan kaldırılmış, bu da simülasyon sonuçlarına olumlu katkı yapmıştır. Yolcu renklerinden yeşil olanlar istasyondan çıkış yapan yolcuları, kırmızı ve turuncu renkli olanlar ise platform katına inmekte olan yolcuları ifade etmektedir. Hem gelen hem de giden yolcular balkon katında herhangi bir yoğunluk ya da sıkışıklık yaşamadan istedikleri kata geçiş yapabilmektedirler. Bu katta gelen ve giden yolcuların birbirleri ile karışmalarını engellemek üzere bariyerler kullanılmış, bu da işletme açısından rahatlatıcı ve sirkülasyon açısından faydalı olmuştur.

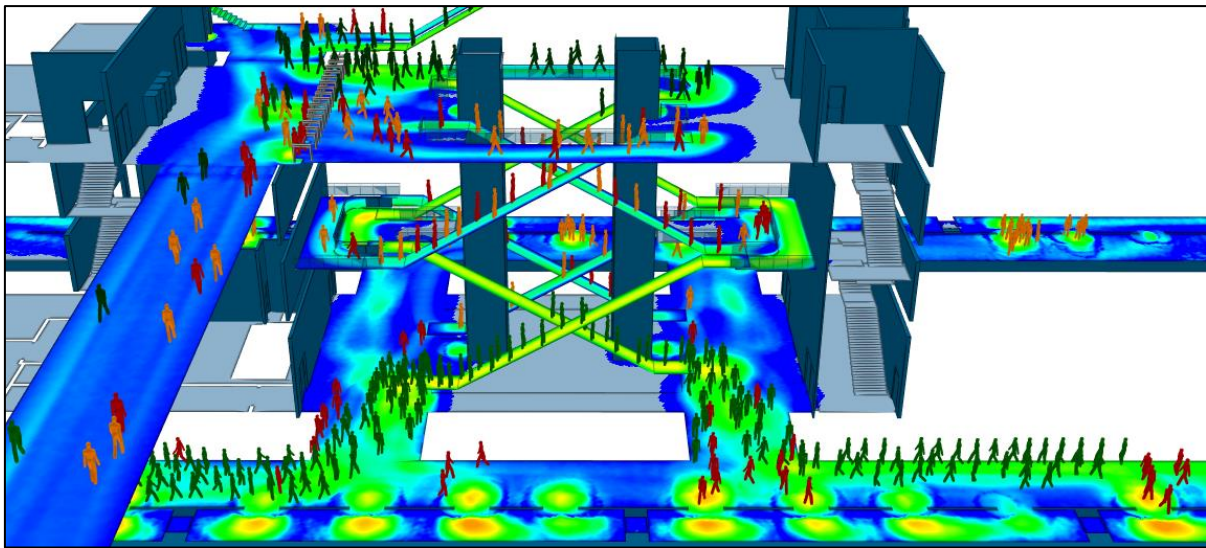
Platform katına iniş ve platform katına çıkış bölgeleri, ilk tasarımda görülen sorunların ardından mimari tasarım ekibi tarafından genişletilmiş ve simülasyon çalışmasında bu son hali kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, yürüyen merdivenleri ve asansörleri kapsayan erişim bölgesinde herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Asansör ve yürüyen merdiven sayıları yeterlidir. Yolcular bu bölgelerde çok kısa bekleme süreleri yaşamakta ve ciddi bir sıkışıklık söz konusu olmamaktadır (Şekil 6).



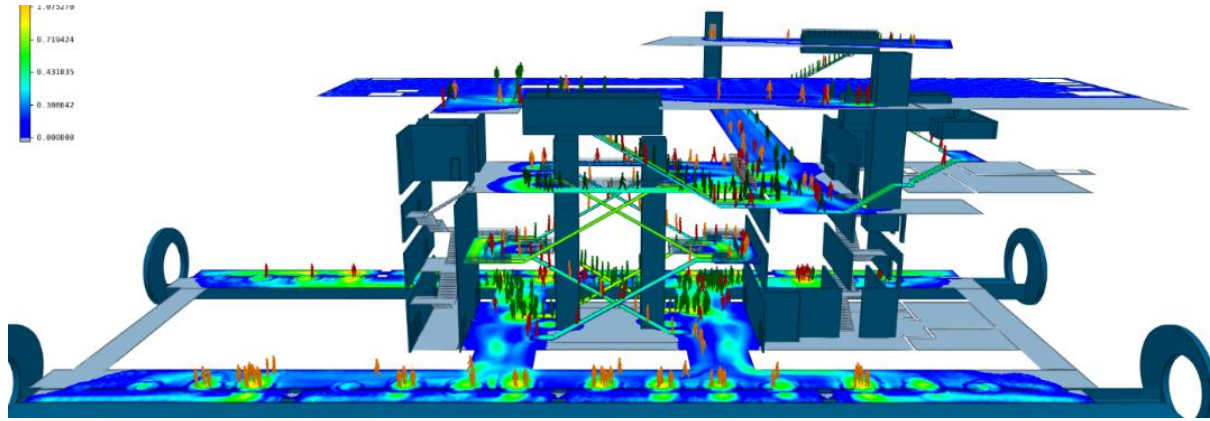
Şekil 6. Platform Katı Yolcu Simülasyonu Sonuçları

Koridorlardan geçen yolcular gidecekleri yöne göre peronlara ulaşmakta ve burada 3 dakika sefer aralığına sahip trenleri beklemektedirler. Peron genişlikleri hem bekleyen yolcular hem de trene inip binen yolcular açısından yeterli kapasiteye sahiptir. Platform katında sadece tren kapılarının önlerinde turuncu alanlar oluşmaktadır.

Gerçekleştirilen 3 boyutlu yolcu simülasyonunun sonuçları tüm katları bir arada gösterecek şekilde de görüntülenebilmektedir (Şekil 7-8).



Şekil 7. Üç Boyutlu Yolcu Simülasyonu Genel Görünüm – 1



Şekil 8. Üç Boyutlu Yolcu Simülasyonu Genel Görünüm – 2

İstasyona giriş çıkış bölgeleri, bilet holü, konkors katı, balkon katı, platform katı ve peronlar yolcu sirkülasyonu açısından gerekli alanları sağlamaktadırlar. Aynı zamanda; istasyon genelinde yer alan asansörler, yürüyen merdivenler, sabit merdivenler ve turnike sayıları yeterli seviyededir. İstasyon kompakt bir yapıya sahip olmakla birlikte, yolculara sirkülasyonu için gerekli alanları sağlamaktadır. Seçilen metro hattında yer alan yer altı metro istasyonu için zirve saat yolculuk değerleri doğrultusunda gerçekleştirilen yolcu simülasyonu ve kapasite analizi çalışmaları, istasyonun zirve saat normal işletme senaryosu açısından uygun olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür taraması, verilen teorik bilgiler, ulusal ve uluslararası standartlar ışığında gerçekleştirilen örnek uygulama göstermektedir ki; hem şehir planlama hem de mimarlık disiplininde insan için tasarlanan mekânların insan ergonomisine ve davranış biçimlerine uygun olarak tasarlanması çok önemlidir. Yakın geçmişe kadar bu konuda yazılmış pek çok eserde ergonomik tasarım kriterleri belirtilmiş olmakla birlikte, tasarlanan mekânın tamamının daha tasarım aşamasındayken yaya sirkülasyonu açısından simüle edilebiliyor olması ortaya çok farklı ve çok daha hassas bir bakış açısı çıkarmıştır. Simülasyon teknolojileri kullanılmadan, sadece belli standartlara göre ortaya çıkarılan projelerin inşa edilmesinin ve kalabalık insan topluluklarınca kullanılmasının ardından daha önce fark edilmeyen pek çok hata ortaya çıkabilir. Fakat inşaatı tamamlanmış bir yapıda hata fark edildikten sonra geri dönüş çok zor, hatta çoğu durumda imkânsızdır. Bu istenmeyen ihtimali minimuma indirmek ise ancak tasarım aşamasında kullanılacak yaya simülasyonu teknolojileri ile mümkündür. Ancak bu teknolojiler sayesinde tasarımımız hayata geçtiğinde karşılaşılabileceğimiz sorunları görebilir ve gerekli önlemleri alabiliriz.

Bugün hem yurt dışında hem de ülkemizde pek çok kamu kurumu, önemli ve büyük projelerin tasarımcılarından, tasarladıkları yapıya ilişkin yaya simülasyonu sonuç raporlarını istemekte ve bunu zorunlu tutmaktadır. Dolayısıyla, projenin insanların kullanımına uygunluğu ve kapasite açısından yeterli olduğu inşa süreci başlamadan önce ispat edilmek zorundadır. Özellikle kritik öneme sahip ve yoğun kullanım oranlarına sahip mekanlar için simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmeli ve tasarım değerlendirme süreçlerinde etkin olarak kullanılmalıdır. Simülasyon teknolojileri, şehir plancısı ve mimarlar başta olmak üzere birçok meslek grubu için şehrin önemli kullanım alanlarının tasarımlarını test etme fırsatı bulabilecekleri önemli araçlardır.

Bu çalışma kapsamında da yoğun bir kullanıcı kitlesine hitap edeceği düşünülen bir yeraltı metro istasyonu hem kapasite hem de sirkülasyon açısından test edilmiş ve hem ulusal hem de uluslararası kabul görmüş standartlar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması ve analizler göstermiştir ki, çalışma alanı olarak seçilen metro istasyonu normal işletme senaryosuna göre kapasite ve sirkülasyon açısından yeterlidir.

Kaynakça

- Bateman, J., Laspa, T., & Morrow, E. (2007). Innovative Approaches to Pedestrian Planning at Toronto's Union Station. *Walk21 International Conference*, (s. 1-14). Toronto, Kanada.
- Eceoğlu, A. (2012). Teknolojik Gelişmelerin Mimarlık Mesleğine Yansımaları ve Simülasyon Programlarının Mekân Tasarımına Etkisi. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication - TOJDAC*, 2(2), 89-93.
- Fruin, J. J. (1987). *Pedestrian Planning and Design (Revised Edition)*. Elevator World Inc.
- Helbing, D., & Molnar, P. (1998). Social force model for pedestrian dynamics. *II. Institute of Theoretical Physics*.
- Hoogendoorn, S., & Bovy, P. H. (2004). Pedestrian Route-Choice and Activity Scheduling Theory and Models. *Transportation Research Part B*, 169-190.
- King, D., Srikukenthiran, S., & Shalaby, A. (2013). *Using Massmotion to Analyze Crowd Congestion and Mitigation Measures at Interchange Subway Stations: Case Of Bloor-Yonge Station in Toronto*. Annual Meeting of the Transportation Research Board. Toront: ARUP.
- Kırbaş, İ. (2013). *Yaln Simülasyon*. İstanbul: İkinci Adam Yayınları.
- Maden, D. A., & Avlar, E. (2017). Yer Altı Metro İstasyonlarındaki Yolculu Alanların Görsel Konfor Açısından Değerlendirilmesi: Kadıköy ve Kartal İstasyonları Örneği. *MEGARON - Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi*, 12(1), 13-26.
- Morrow, E. (2010). MassMotion: Simulating human behaviour to inform design for optimal performance. *The Arup Journal*, s. 38-40.
- National Fire Protection Association. (2016). *NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Transit Systems*. Massachusetts, A.B.D.
- Rivers, E., & Jaynes, C. (2011, 6. Rivers, E., & Jaynes, C. (2001). Validating Massmotion for Egress Modeling - Phase 2 Report. Londra, İngiltere: ARUP.). *Validating Massmotion for Egress Modeling - Phase 2 Report*. Londra: ARUP.
- Rivers, E., Jaynes, C., Kimball, A., & Morrow, E. (2014). Using Case Study Data to Validate 3D Agent-Based Simulation Tool for Egress Modeling. *Transportation Research Procedia*, 123-131.
- Strafaci, A. (2008). What does BIM mean for civil engineers? *CE NEWS*, s. 62-65.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1997). *TS-12127: Şehirçi Yollar-Raylı Taşıma Sistemleri Bölüm 1: Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları*. Ankara.

Extended English Summary

Developing simulation technologies have been widely used in urban planning and architectural projects in last years. Simulation is imitation of the theoretical and physical models, processes or situations. It is a significant methodology to understand the behavior of the system and test the different scenarios before applying it to the real world. Therefore, now it is possible to simulate the urban plans, transportation systems, urban design projects, architectural buildings etc. in digital environment in 3D. In this way, designers and managers can test the functionality and accessibility of their projects. As a result of the simulation processes, the design flaws become noticeable and the designer may be able to fix them before starting the application process.

Interdisciplinary studies are indispensable parts of our lives especially while working on multi-purpose, complex and densely used environments. Thus, we need new tools to work on the same project all together with the other team members. Building Information Modeling (BIM) technology supplies a platform to urban planners, architects, civil engineers, electrical engineers, mechanical engineers and other related professions to integrate their works on the same platform and discuss on the project. It is an integrated system including the design process, construction process and operating processes. It has important advantages rather than the similar technologies in

terms of cost, time, speed, accuracy and precision in projects. Now, a new technique is on the market to take design process much further: 3D Pedestrian Simulation Technologies.

Pedestrian simulation has critical importance on human based design processes for both micro and macro scale projects. Aesthetics, beauty and similar terms may be arguable but a non-functional spatial design cannot be accepted. All spaces, cities, squares, parks, roads and buildings are generally designed for people. If these urban structures are not suitable for them, they will react to these designs, designers and managers. Therefore, ergonomics and functionality terms must be the basic design criteria of all human based urban planning and architectural design processes. How may it be possible for anyone to understand an urban design project or a building is functional before constructing it? The answer is pedestrian simulation studies integrated into the design processes of spaces.

The simulation is not only about just creating some agents moving through the spaces between origins and destinations but also about their interaction with the designed environment and other people in the system. We have this simulation technique for long time, but today we have 3D and much more realistic simulation software. Both the visual quality and analysis results are very near to reality. 3D pedestrian simulation software on the market uses different algorithms to estimate the human behavior in terms of spatial design and dynamic environment including hundreds or thousands of other agents. The most significant feature of these systems is not giving a specific route to the agents; on the contrary, system does not give any route to the agents simulated in the software. Origins, destinations, number of people (agents) and operation conditions are the main criteria. Especially for the complex structures, it is hard to estimate the behaviors of too many people, so selecting the right simulation software is very important for satisfactory results. At this point, an internationally accepted and scientifically proven reliable software must be used to get a better design assessment process.

Tens of thousands of people use crowded structures such as airport, stadium, shopping center, metro station etc. everyday. If design flaws are noticed after completing the construction of the building, generally no way back to fix the mistake; but if the flaws are noticed in the design process by simulation techniques, the technical drawings may be revised and simulated again until finding the best design. It is not only about comfort and speed of people, but also about the security. The designer has to know that the building has the minimum necessary capacity to evacuate all people securely in case of emergencies. For instance, the platform floor of a metro station has to be evacuated in maximum 4 minutes in case of emergency. There are some conventional methods to calculate these kind of standards but none of them is as effective as new 3D pedestrian simulation technologies using BIM integrated models and scientifically proven algorithms.

The aim of this article is to explain the benefits of pedestrian simulation technologies through the design processes in both theoretical and practical frameworks on a case study area, which is an underground metro station. The name, route and the location of the metro station cannot be given in the article because of security reasons. Therefore, the first station is A, the last station is Z and the case study area is named as E station.