



## Metro İstasyonu Tasarımlarının Normal İşletme ve Acil Durum Tahliye Senaryoları Açısından 3 Boyutlu Simülasyon Teknolojisi ile Değerlendirilmesi

Cem KIRLANGIÇOĞLU

*Sakarya Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Sakarya, Türkiye*

*kirlangicoglu@sakarya.edu.tr*

*(Alınış/Received: 18.04.2022, Kabul/Accepted: 22.06.2022, Yayınlama/Published: 31.07.2022)*

**Öz:** Yaya simülasyonu teknolojilerinin mimarlık ve şehir planlama disiplinlerinde kullanımı yeni bir kavram olmamakla birlikte; makine öğrenmesi tabanlı, insan davranışlarına benzer sonuçlar veren, ajan bazlı, gerçekçiliği ve geçerliliği bilimsel olarak ispatlanmış üç boyutlu simülasyon yazılımları son yıllarda ortaya çıkmışlardır. Bu yazılımlar, özellikle kalabalık ve karmaşık mekanlarda ortaya çıkabilecek sirkülasyon ve acil durum tahliye problemlerinin henüz tasarım aşamasındayken görülmesine olanak sağlamakta; bu sayede yapı inşa edilmeden önce projede gerekli revizyonların gerçekleştirilmesine imkan vermektedir. Ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, güncel simülasyon teknolojilerinin yapılara ilişkin normal işletme ve acil durum tahliye senaryolarının değerlendirilmesinde kullanımını örnek olarak seçilen gerçek bir metro istasyonu projesi üzerinden incelemektir. Seçilen raylı sistem hattındaki istasyona özgü yolcu yüklerinin bulunması amacıyla klasik elle hesaplama yöntemleri kullanılmış, ortaya çıkan değerler Massmotion yazılımına aktararak mekânsal kapasite analizleri gerçekleştirilmiş ve istasyonun tüm katlarına ilişkin hizmet seviyeleri bulunmuştur. Sonuç olarak metro istasyonunun normal işletme ve acil durum tahliye senaryolarının gereksinimlerini karşılayıp karşılamayacağı test edilmiş, ortaya çıkan sonuçlar çalışma kapsamında verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Metro istasyonu, Yaya simülasyonu, Hizmet seviyesi, Kapasite analizi, Sosyal Kuvvet Modeli

### Evaluation of Metro Station Design in Terms of Normal Operation and Emergency Evacuation Scenarios with 3D Simulation Software

**Abstract:** Although the use of pedestrian simulation technologies in architecture and urban planning disciplines is not a new concept; the use of 3D simulation software based on machine learning, which gives results similar to human behavior, which is agent-based and of which validity has been scientifically proven, have emerged in recent years. This kind of software allows seeing circulation and emergency evacuation problems that may arise in crowded and complex spaces while still in the design phase. This way, it allows the necessary revisions to be made in the project before the construction begins. The aim of this study, which is carried out in line with national and international standards, is to examine the use of current simulation technologies in the evaluation of normal operation and emergency evacuation scenarios related to buildings through an actual metro station project selected as an example. In order to find station-specific passenger loads on the chosen rail system line, classical manual calculation methods were used, spatial capacity analyzes were carried out by transferring the resulting values to the Massmotion software, and service levels for all floors of the station were found. As a result, it was tested whether the selected metro station would meet the requirements of regular operation and emergency evacuation scenarios or not, and the results were given within the scope of the study.

**Keywords:** Metro station, Pedestrian simulation, Level of service, Capacity analysis, Social Force Model

Atıf için/Cite as: C. Kırlangıçoğlu, "Metro istasyonu tasarımlarının normal işletme ve acil durum tahliye senaryoları açısından 3 boyutlu simülasyon teknolojisi ile değerlendirilmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 16, pp. 51-65, July. 2022. doi: 10.47072/demiryolu.1105491

## 1. Giriş

Binlerce yıl önce başlayan kentleşme süreci [1], Endüstri Devrimi sonrası giderek hızlanmış ve günümüzün kalabalık şehirleri ortaya çıkmıştır [2]. Türkiye'nin en kalabalık şehirleri sırasıyla İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa olup; sadece İstanbul'da 15 milyondan fazla kişi yaşamaktadır [3]. Havalimanı, alışveriş merkezi, metro istasyonu, stadyum, şehir hastanesi gibi kalabalık ve kompleks yapılarda binlerce insan aynı anda aynı mekanı paylaşmaktadır. Bu tip yapıların mimari tasarım süreçlerinde, büyük kalabalıkların konforlu ve güvenli bir şekilde hareket etmesi, varmak istedikleri noktaya en kısa sürede varmaları özellikle ulaşım yapılarında çok önemlidir. Yer üstündeki yapılar kullanıcı kapasitesi, yaya sirkülasyonu ve acil durum tahliye senaryoları açısından daha rahat tasarlanabilirken; yeraltı yapılarında ise genelde daha kısıtlı alanlarda çalışmakta ve özellikle yangın güvenliği açısından çok daha spesifik çözümlere gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, metro istasyonlarının mimari tasarım süreçlerine ilişkin normal işletme ve acil durum tahliye simülasyonu çalışmalarının 3 boyutlu simülasyon teknolojisi kullanılarak ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda nasıl yapılması gerektiğini örnek bir metro istasyonu üzerinden uygulamalı olarak göstermektir.

Metro istasyonları inşa edildikten ve yolcular tarafından kullanılmaya başlandıktan sonra mimari anlamda geri dönüş pek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, yapı kullanıma açıldıktan sonra ortaya çıkabilecek sorunların simülasyon teknolojileri ile önceden, daha tasarım aşamasındayken görülmesi hayati öneme sahiptir. 1986 yılında Londra'nın King's Cross istasyonunda çıkan yangında 32 kişi hayatını kaybetmiş, 150 kişi de yaralanmıştır. Güney Kore'deki Daegu metrosunda 2003 yılında gerçekleşen yangında ise 198 kişi ölmüş, 147 kişi yaralanmıştır [4]. Bu örnekleri çoğaltmak mümkün olmakla birlikte, bu tip olayların genelde büyük şehirlerin kalabalık metro hatlarında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. İstanbul'da, yoğunluğu metro hatları olmak üzere, raylı sistemleri kullanan günlük toplam yolcu sayısı 2 milyon 500 bin kişiyi aşmış durumdadır [5]. Bu kullanıcıların yangın başta olmak üzere her türlü acil duruma karşı güvenle seyahat etmelerini sağlamak kadar, doğru tasarımlarla seyahat sürelerini mümkün olduğunca kısaltmak da önemlidir. Günümüzde tasarlanan yapıların bazıları kullanıma açıldıktan sonra pek çok sorun ile karşılaşmaktadır. Yürüyen merdivenlerin ve asansörlerin yetersiz kalması nedeniyle bu bölgelerde meydana gelen sıkışıklıklar, yeterli genişliğe sahip olmayan koridorlarda ve darboğazlarda yaşanan yoğunluklar bunlardan sadece bazılarıdır. Fakat inşa süreci tamamlandıktan sonra çoğu yapıda artık geri dönüş yoktur ve milyonlarca insan uzun yıllar boyunca binayı o şekilde kullanmak zorundadır. Halbuki güncel yaya simülasyonu yazılımları ile tüm sirkülasyon ve tahliye sorunlarını önceden görmek, istasyonların hizmet seviyelerini artırmak, milyonlarca kişinin yolculuk sürelerini azaltmak ve güvenliklerini en üst seviyeye çıkarmak mümkündür.

Literatürde, gerek mevcut gerekse henüz inşa edilmemiş metro istasyonlarının normal ve acil durum kullanımlarının senaryolarının simüle edildiği çalışmalar mevcuttur. Clifford [6] Danimarka, İngiltere ve Portekiz'de yer alan farklı metro istasyonları üzerinde yolcu simülasyonları gerçekleştirerek metro araçlarının işletme saatlerinde ve sefer sıklıklarında yapılacak değişikliklerin, yolcu yoğunlukları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Li vd. [7] Hong Kong'un en kalabalık metro istasyonlarından birinde, araca iniş ve binişler esnasında platformda yaşanan karmaşa ve yoğunlukların, araç sefer saatlerinde ve yolcu davranışlarındaki değişikliklerle azaltılabileceğini simülasyon ortamında ispatlamışlar ve sahaya başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamışlardır. Seriani ve Fernandez [8] metro araçlarının kapıları ile platformda bu kapıların önündeki yolcu yoğunlukları üzerinde bir simülasyon çalıştırması gerçekleştirmişler; ardından da özellikle orta kesimlerdeki bazı tren kapılarının aşırı yoğunluğa maruz kalırken diğer kapıların çok daha az tercih edilmesi nedeniyle yaşanan sıkışıklıklara dikkat çekerek çözüm önerileri getirmişlerdir. Zhang vd. [9] Pekin metrosunun Wangfujing istasyonunda zirve saatlerde yaşanan aşırı yolcu yoğunluğunun istasyon geneline nasıl dağıtılabileceği, mekanların nasıl daha verimli kullanılabileceği ve bilet holündeki turnikelerde yaşanan kapasite yetersizliklerinin önüne

nasıl geçilebileceğini gerçekleştirdikleri bir simülasyon üzerinden açıklamaktadırlar. Yin vd. [10] raylı sistemlerde kalabalık yolcu gruplarının hareketlerinin etkili bir talep yönetim stratejisi ile nasıl yönlendirilmesi gerektiği üzerine teoriler geliştirmiş, Pekin metrosuna ilişkin bir simülasyon çalışması ile bu teorilerin bilimsel geçerliliğini kanıtlamışlardır. Metro istasyonlarındaki genel sirkülasyon problemleri ve platform katı gibi yolcu bekleme bölgelerindeki problemlere odaklanan çalışmalara ek olarak, yangın başta olmak üzere acil durum tahliye senaryoları üzerine yoğunlaşan yayınlar da bulunmaktadır. Zhong vd. [11] öncelikle metro istasyonlarını kullanacak yolcular için planlama, tasarım, yapım ve işletme süreçlerinde ne gibi koruyucu çalışmalar yapıldığını anlatmışlar; ardından da Çin’de yer alan Guangzhou metro istasyonunda çıkabilecek olası bir yangında tüm yolcuların nasıl ve ne kadar sürede güvenli alana tahliye edilebileceğini gösteren bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Kallianiotis vd. [12] öncelikle yer altında inşa edilen metro istasyonlarının güvenlik açısından son derece kritik olduklarını ve özel tasarım stratejilerine gereksinim duyduklarını vurgulamış, ardından klasik elle hesaplama yöntemleri ile bilgisayar ortamındaki simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yunanistan’ın Selanik metrosunda gerçekleştirdikleri çalışma neticesinde simülasyon sonuçlarının özellikle en kötü durum senaryolarında çok daha doğru ve detaylı sonuçlar verdiğini, acil durumdaki yolcu hızlarının ve acil çıkış kapısı tercihlerinin daha isabetli bir şekilde öngörüldüğünü rapor etmişlerdir. Li vd. [13] acil durum tahliye senaryolarında sadece klasik matematiksel modelleme tekniklerinin yeterli olmayacağını, farklı karaktere sahip insan gruplarının hissedecekleri değişik baskı ve panik faktörlerinin de simüle edilmesi gerektiğini teorik olarak açıklamışlar ve ardından Pekin metrosunda yer alan Xizhimen istasyonu üzerinde farklı tahliye senaryolarını deneyerek birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Siong vd. [14] geleneksel acil durum tahliye hesaplamalarında platform katındaki yolcuların tüm acil çıkışlara eşit olarak dağıtıldığına dikkat çekmekte ve gerçek hayatta bunun her zaman mümkün olamayacağını vurgulamaktadırlar. Mimari tasarımlara göre bazı acil çıkış kapıları son derece rahat görülebilir ve erişilebilir iken, diğerlerine çok daha zor ulaşılabilir. Bu durumda, acil durumda yolcular tüm girişlere eşit dağılmayacaktır ve ne olacağını öngörebilmenin en iyi yolu 3 boyutlu bir yaya simülasyonu yazılımı kullanmaktır.

Ulusal literatüre bakıldığında ise bu tip çalışmaların genellikle mühendislik disiplinleri tarafından gerçekleştirildiği görülmüş, konuyu mimari bakış açısı ile ele alan çok az çalışmaya rastlanmıştır. Özdamar [15] yeraltı metro istasyonlarında pasif yangın güvenliğinin sağlanması için gerekli ulusal ve uluslararası standartları karşılaştırmış, her birindeki parametreler doğrultusunda yolcu simülasyonu çalışmaları gerçekleştirmiş ve sonuç olarak performans odaklı simülasyon yazılımlarının istasyon tasarım süreçlerinde kullanımının yangın güvenliği açısından faydalı olduğunu belirtmiştir. Koç ve Ceylan [16], Varşova Metrosu Powisle İstasyonunda uygulanan çalışma doğrultusunda CFD ve yolcu simülasyon yazılımlarının beraber kullanılması ile üç boyutlu duman, sıcak hava ve insan hareketlerinin geleneksel yöntemlere göre daha gerçekçi bir şekilde modellenebileceğini söylemektedirler. Kırancıoğlu ve Döker [17] ergonomik ve fonksiyonel metro istasyonu tasarımları için yaya simülasyonu teknolojilerinden faydalanılabileceğini belirtmiş ve örnek bir metro istasyonuna ilişkin normal durum işletme senaryosu üzerinden öneriler getirmişlerdir. Türkölmez ve Güneş [18], İzmir Metrosu’nun Konak istasyonu için üç farklı senaryo doğrultusunda acil durum tahliye simülasyonu gerçekleştirmiş, mevcut istasyonun iki senaryoda yolcu güvenliği için gereken sürede tahliye edilemediği sonucuna varmış ve hem tasarım hem de işletme açısından alınması gereken tedbirleri belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında; seçilen örnek bir metro istasyonunun tüm katları öncelikle normal işletme senaryosu doğrultusunda yolcu sirkülasyonu açısından ele alınmış, ardından da yolcu yüklerine göre kapasite analizi gerçekleştirilerek zirve saat acil durum tahliye senaryoları değerlendirilmiştir. Bu incelemelerin tamamı geçerliliği bilimsel olarak kanıtlanmış 3 boyutlu bir yaya simülasyonu yazılımı ile gerçekleştirilmiş, izlenen yöntem ve bulgular aşağıda verilmiştir.

## 2. Yöntem

Literatür taraması göstermektedir ki; gerek normal işletme durumundaki yolcu sirkülasyonlarının test edilmesinde gerekse acil durum tahliye senaryolarının değerlendirilmesinde ilk adım, metro istasyonuna ilişkin kapasite analizlerinin gerçekleştirilmesi ve yolcular tarafından kullanılacak tüm mekanların hizmet seviyelerinin belirlenmesidir. Kapasite analizi, bir metro istasyonunun ve sahip olduğu tüm mekanların kullanıcılar açısından güvenli, konforlu ve alan olarak kullanıcı sayısı açısından yeterliliğinin ölçülmesidir [19]. Metro istasyonlarında gerçekleştirilen kapasite analizlerinde kullanılan yöntemlerden biri de hizmet seviyesinin ölçülmesidir. Hizmet Seviyesi (Level of Service) terimi günümüzde kısaca bir mekân ya da güzergâhta kullanıcılar tarafından deneyimlenen farklı yoğunlukları derecelendirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Özellikle mimari tasarımlar gerçeğe dönüşmeden önce, kullanıcı sayıları doğrultusunda tüm mekânların hizmet seviyelerinin belirlenmesi, kritik hataların önceden görülmesini sağlamak ve gerekli revizyonların gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır [20]. Daha önce araç sayıları ve trafik yoğunluklarını tanımlama amaçlı kullanılan bu terim, yayalar açısından ilk defa Fruin [21] tarafından 1971 yılında kapsamlı olarak ele alınmış; düzayak yürüme yolları, merdivenler ve bekleme alanları için ayrı ayrı hizmet seviyesi standartları getirilmiştir (Tablo 1). Hizmet seviyesi arttıkça, yani hiyerarşideki renkler kırmızıdan maviye doğru gittikçe kişi başına düşen alan çoğalmakta; kullanıcıların seyahat konforu ve güvenliği artarken, yolculuk süreleri ise kısalmaktadır [22].

**Tablo 1.** Fruin hizmet seviyesi hiyerarşisi [21]

Hizmet Seviyesi	Yürüme Yolu (m <sup>2</sup> /kişi)	Merdiven (m <sup>2</sup> /kişi)	Bekleme Alanı (m <sup>2</sup> /kişi)
<b>A</b>	> 3,24	> 1,85	> 1,21
<b>B</b>	3,24 - 2,32	1,85 - 1,39	1,21 - 0,93
<b>C</b>	2,32 - 1,39	1,39 - 0,93	0,93 - 0,65
<b>D</b>	1,39 - 0,93	0,93 - 0,65	0,65 - 0,28
<b>E</b>	0,93 - 0,46	0,65 - 0,37	0,28 - 0,19
<b>F</b>	< 0,46	< 0,37	< 0,19

Bu çalışma kapsamında, hizmet seviyelerinin belirlenmesinde üç boyutlu ve ajan tabanlı bir simülasyon yazılımı olan Massmotion kullanılmıştır. Ajan tabanlı modelleme; bir sistemin ya da bir yapının önceden belirlenmiş kurallar doğrultusunda ajan olarak adlandırılan ve içinde bulunduğu şartlara göre bireysel olarak kendi kararlarını kendi verebilen varlıklar kullanılarak bilgisayar ortamında test edilmesi esasına dayanır [23]. Bu modelleme tekniğini kullanan Cromosim, Crowd Dynamics, AnyLogic, InControl, Quadstone Paramics, Crowdsim3D, PTV Viswalk, Legion gibi yazılımlar bulunmaktadır [24]. Fakat bu yazılımların içinde geliştirilmesi durdurulmuş olanlar, hala 32 bit işletim sistemi üzerinde çok yavaş çalışanlar, ajan sayısı açısından sınırlamalar içerenler, sadece iki boyutlu olanlar ve bilimsel geçerliliği ispatlanmamış olanlar mevcuttur. 64 bit işletim sistemleri ile uyumlu çalışan Massmotion yazılımının geçerliliği, hassasiyet ve doğruluk seviyelerinin yeterliliği; başta Mashhadawi [25], O'Donnell vd. [26], Arup [27] olmak üzere pek çok bilimsel çalışma ile ispatlanmıştır. Bu nedenden ötürü, çalışma için Massmotion kullanımında karar kılınmış, tüm analiz ve hesaplamalar bu yazılım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Massmotion yazılımının arka planında Sosyal Kuvvet Modeli çalışmaktadır. Bu model, tek bir insanın hareketlerini tahmin etmenin çok zor olduğu, ama kalabalık ile birlikte

hareket eden bireylerin davranış biçimlerinin istatistiki açıdan anlamlı derecede tahmin edilebileceği esasına dayanmaktadır. Özellikle metro istasyonu gibi kalabalık mekanlarda, insanlar hedeflerine ulaşmak için genelde en kısa yolu tercih ederler ve kendilerine göre normal bir yürüyüş hızıyla ilerlerler. Fakat çevrelerindeki diğer yayaların konumları ve hareketleri ile mekândaki diğer fiziksel etmenler, yolcuların davranış biçimleri ve izleyecekleri güzergâh üzerinde etkili olurlar. Yayalar da mevcut ve değişken çevresel koşullar doğrultusunda kendilerine alternatif güzergâhlar belirleyerek hedeflerine mümkün olan en kısa sürede ulaşmaya çalışırlar. Sosyal Kuvvet Modelinin formülasyonu temelde Newton tarafından oluşturulan hareket yasalarına dayanmaktadır. Bu modele göre, hedefleri doğrultusunda bir yerden bir yere gitmeye çalışan yayalara etki eden itici ve çekici kuvvetler vardır. İtici kuvvetler bireylerin önüne çıkan engeller ve diğer bireyler ile aralarına belli bir mesafe koyma isteği olabilirken; çekici kuvvetler ise diğer yayaların grup halinde belli bir yöne doğru hareketleri veya bireylerin ilgi alanlarına giren cansız nesnelere olabilir [28]. Massmotion yazılımının arka planındaki ajan tabanlı modelleme ve sosyal kuvvetler algoritması sayesinde, simüle edilen yayalar neredeyse gerçek hayattaki insanlar gibi hareket etmektedirler. Bahsi geçen yaya simülasyonu teknolojisi, seçilmiş örnek bir metro istasyonu üzerinde uygulanmıştır. Çalışma alanı olarak Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'da [3] henüz tasarım aşamasındaki bir metro istasyonu seçilmiştir. Güvenlik amacıyla metro istasyonunun adı, konumu ve hangi raylı sistem hattı üzerinde olduğuna ilişkin bilgiler gizlenmiştir. İlgili raylı sistem hattına ve işletmeye özgü bazı değerler Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yolcu simülasyonunda kullanılan hat esaslı değerler

Değer	Birim	Kapasite
Sefer Aralığı (Headway)	dk	2,25
Peron Boyu	m	180
Peron Genişliği	m	4,2
Uyarı Bandı	m	0,5
Vagon Sayısı	adet	8
Vagon Kapasitesi	kişi/vagon	300

Kapasite analizinin gerçekleştirilmesi ve hizmet seviyelerinin belirlenebilmesi için, hat esaslı değerlere ek olarak, ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda bazı genel ön kabullerin yapılması gerekmektedir. Tablo 3'te verilen ön kabuller raylı sistemler alanındaki ulusal (TS 12127: Şehir içi yollar - Raylı taşıma sistemleri Bölüm 1: Yer altı istasyon tesisleri tasarım kuralları) ve uluslararası (NFPA 130: A.B.D. Ulusal Yangından Korunma Derneği - Sabit Kılavuz Yollu Taşıma ve Yolculu Raylı Sistemler için Standartlar) geçerliliği olan kaynaklardan yola çıkılarak hazırlanmıştır.

**Tablo 3.** Yolcu simülasyonunda kullanılan genel kapasite değerleri ve ön kabuller

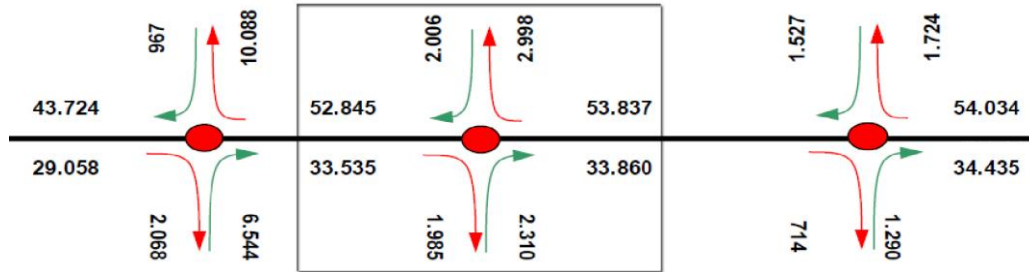
Değer	Birim	Kapasite
Zirve (Pik) Saat Faktörü	katsayı	1,25
Büyütme Faktörü	katsayı	1
Kaçan Tren Faktörü	katsayı	2
Yürüyen Merdiven Kapasitesi (Normal İşletme, Hız: 0,65 m/sn)	kişi/dk/m	120
Yürüyen Merdiven Kapasitesi (Acil Durum)	kişi/dk/m	75
Merdiven Kapasitesi (Normal İşletme)	kişi/dk/0,60m	35

Merdiven Kapasitesi (Acil Durum)	kişi/dk/m	56
Yürüme Hızı (Peron - Acil Durum)	m/dk	37,7
Yürüme Hızı (Konkors - Acil Durum)	m/dk	61
Yürüme Hızı (Merdiven Yukarı - Acil Durum)	m/dk	14,6
Peron Kapasitesi (Normal İşletme)	m <sup>2</sup> /kişi	0,5
Güvenli Alan Kapasitesi (izdiham durumu)	m <sup>2</sup> /kişi	0,28
Bilet Holü Kapasitesi	m <sup>2</sup> /kişi	1
Turnike Kapasitesi - Giriş (Normal İşletme)	kişi/dk	30
Turnike Kapasitesi - Çıkış (Normal İşletme)	kişi/dk	40
Turnike Kapasitesi (Acil Durum - Kapı Tipi)	kişi/dk	50
Turnike Kapasitesi (Acil Durum - Kollu)	kişi/dk	25
Turnike Acil Çıkış Kapısı	kişi/dk	60
Peron-Koridor-Rampa Kapasitesi (Acil Durum)	kişi/dk/m	82
Kapı Çıkış Kapasitesi (Tek Kanatlı Kapı - Acil Durum)	kişi/dk/m	60
Kapı Çıkış Kapasitesi (Çift Kanatlı Kapı - Acil Durum)	kişi/dk/m	82

Çalışmada kullanılacak yöntemin, standartların, hat esaslı değerlerin ve ön kabullerin belirlenmesinin ardından seçilen örnek metro istasyonunda normal işletme ve acil durum tahliye senaryoları doğrultusunda uygulama yapılmış, ilgili hesaplamalar ve bulgular aşağıda verilmiştir.

### 3. Bulgular

Herhangi bir yapıda yaya simülasyonu çalışması yapılabilmesi, kapasite analizlerinin gerçekleştirilmesi ve hizmet seviyelerinin belirlenebilmesi için bilinmesi gereken en önemli faktör o yapının en yoğun olduğu saatteki (pik ya da zirve saat olarak adlandırılır) kullanıcı sayısıdır. Bu çalışmaya konu olan, A ve B noktaları arasında çalışan raylı sistem hattındaki metro istasyonuna ait 2040 yılı zirve saat yolculuk değerleri Şekil 1'deki kılçık diyagram üzerinde gösterilmiştir. A-B yönü 'Hat 1', B-A yönü ise 'Hat 2' olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1. Metro istasyonu 2040 yılı zirve saat tahmini yolcu sayıları

Kılçık diyagram göstermektedir ki metro istasyonuna gelindiğinde; Hat 1 üzerinde A-B istikametinde hareket eden trenden 1985 yolcu inmekte, 2310 yolcu ise araca binmektedir. İstasyona gelen trenin yolcu yükü 33535 iken, bu noktadan sonra trenin yolcu yükü 33860 olmaktadır. Kılçık diyagramın üst kısmında ifade edilen ve Hat 2 üzerinde B-A istikametinde hareket eden trenden ise 2998 yolcu inmekte, 2006 yolcu araca binmektedir. İstasyona gelen trenin yolcu yükü 53837 iken, bu noktadan sonra trenin yolcu yükü 52845 olmaktadır. Tablo 4, Hat-1 ve Hat-2'ye ait yolculuk bilgilerini içermektedir.

**Tablo 4.** Metro istasyonu Hat 1 ve Hat 2 yolculuk bilgileri

Yolculuk Bilgileri	Hat - 1	Hat - 2	Toplam
Binen Yolcu	2.310 kişi/sa	2.006 kişi/sa	4.316 kişi/sa
İnen Yolcu	1.985 kişi/sa	2.998 kişi/sa	4.983 kişi/sa
Yolcu Yüğü (İnen ve Binen Toplam Yolcu)	4.295 kişi/sa	5.004 kişi/sa	
Tren Yüğü	33.535 kişi	53.837 kişi	
Toplam Yolculuk:			9.299 kişi/saat

Metro istasyonunda Hat 1 doğrultusunda inen ve binen yolcuların toplam sayısı 4295, Hat 2 doğrultusunda inen ve binen yolcuların toplam sayısı ise 5004 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla zirve saatte metro istasyonunu toplam 9299 yolcunun kullanması beklenmektedir. Ayrıca; inen ve binen yolcuları toplam iki noktada yer alan giriş ve çıkışlara eşit olarak dağıttığımızda görülmektedir ki; toplam binen sayısı 4316 kişi olup her bir girişe 2158 yolcu düşmekte, toplam inen sayısı ise 4983 kişi olup her bir çıkışı 2491 yolcu kullanmaktadır. Yolcu sayılarının anlaşılmasının ardından istasyona ilişkin normal işletme ve acil durum tahliye simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

### 3.1. Normal işletme senaryosu

Normal işletme senaryosunun gerçekleştirilebilmesi için, verilen yolculuk değerlerine ek olarak, zirve saatte tren seferlerine yansıyan ortalama yolculuk değerlerinin de bulunması gerekmektedir. Bu sayede her trene ilişkin inen ve binen yolcuların sayısı bulunarak gerek istasyon geneli gerekse de perondaki yolcu yüklerinin dağılımını bulmak mümkün olacaktır. Normal İşletme senaryosunda sefer başına düşen ortalama yolcu sayısını bulmak için gereken formül, Denklem 1.'de verilmiştir.

$$O_y = Y_y : 60 * S_a * K_t * B_f \quad (2)$$

$O_y$ : Ortalama Yolcu Sayısı (sefer başına toplam inen ve binen yolcu sayısı)

$Y_y$ : Yolcu Yüğü ( zirve saat boyunca toplam inen ve binen yolcu sayısı)

Süre: 60 dk,  $S_a$ : Sefer Aralığı (dk),  $K_t$ : Kaçan Tren faktörü,  $B_f$ : Büyütme Faktörü

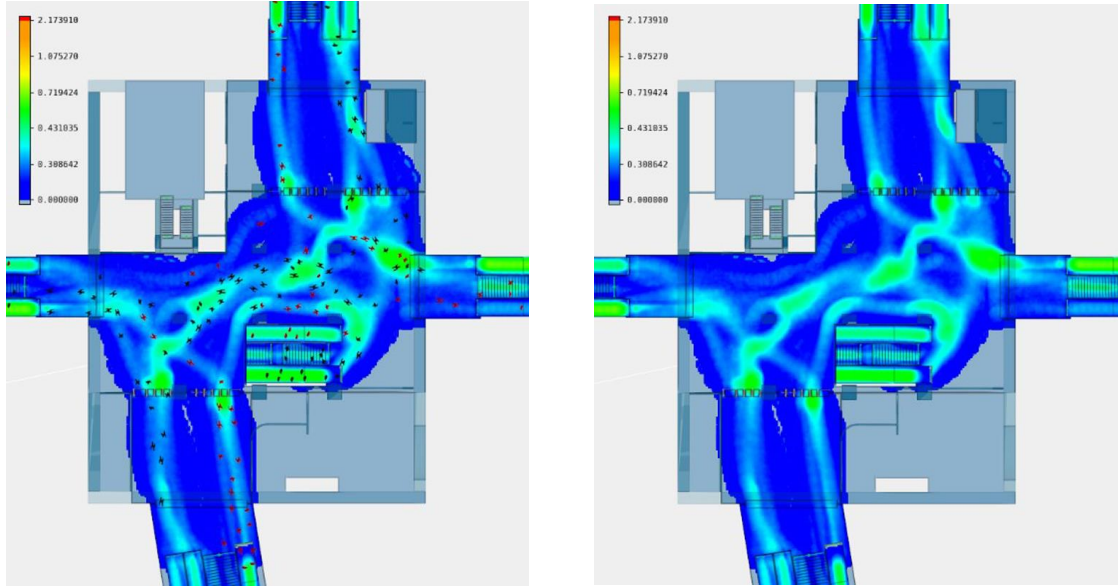
Metro hattındaki ortalama sefer aralığı 2,25 dakika olarak verilmiştir. Bir trenin kaçması durumunda perondaki yolcu sayısı, ilgili hat için, iki katına çıkmaktadır. Bu nedenle Kaçan Tren faktörü için 2 katsayısı kullanılmıştır. Büyütme faktörü ise, yolcu tahminleri 2040 yılındaki en yüksek seviyeye göre yapıldığı için bu çalışma kapsamında 1 olarak alınmıştır. Buna göre, Hat-1 ve Hat-2 için metro istasyonundaki sefer başına ortalama yolcu sayıları şu şekilde hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** Metro istasyonu Hat-1 ve Hat-2 için sefer başına ortalama yolcu sayıları

Formül:	Yolcu Yüğü	/	Süre (dk)	x	Sefer Aralığı (dk)	x	Kaçan Tren Faktörü	x	Büyütme Faktörü	=	Sefer Başına Ort. Yolcu
Hat - 1	4295	/	60	x	2,25	x	2	x	1	=	322 kişi
Hat - 2	5004	/	60	x	2,25	x	2	x	1	=	375 kişi

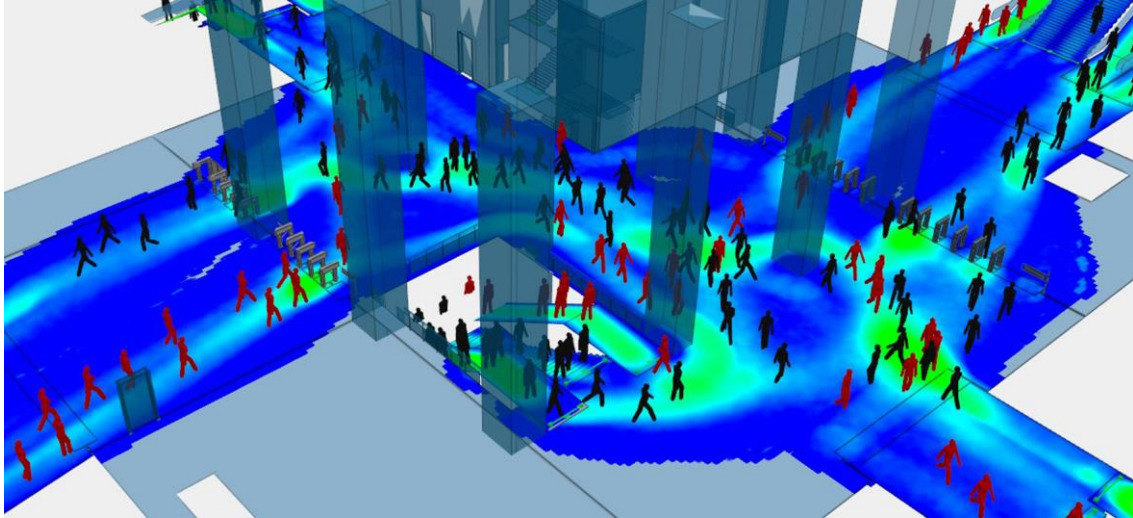
Gerçekçi bir yolcu simülasyonu çalışması için ön kabuller, hesaplanan yolculuk sayıları, hat esaslı değerler ve benzeri verilerin hepsinin bir araya getirilerek 3 boyutlu bir simülasyonu yazılımı ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Autodesk Revit Architecture yazılımında üç boyutlu olarak tasarlanan istasyon Massmotion yazılımına aktarılmıştır. Simülasyonda, yolcular istasyona girerek önce bilet holü katına inmektedirler. Bu nedenle, öncelikle bilet holüne ilişkin

ortalama yoğunluk analizi gerçekleştirilmiş ve Fruin Hizmet Seviyesi Standartları doğrultusunda renklendirilmiştir. Ortaya çıkan yoğunluk haritaları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bilet holü katı ortalama yolcu yoğunluğu haritası

Şekil 3, Bilet Holü katına ilişkin üç boyutlu simülasyon görüntüsünü içermektedir.



Şekil 3. Bilet holü katı 3d simülasyon görünümü

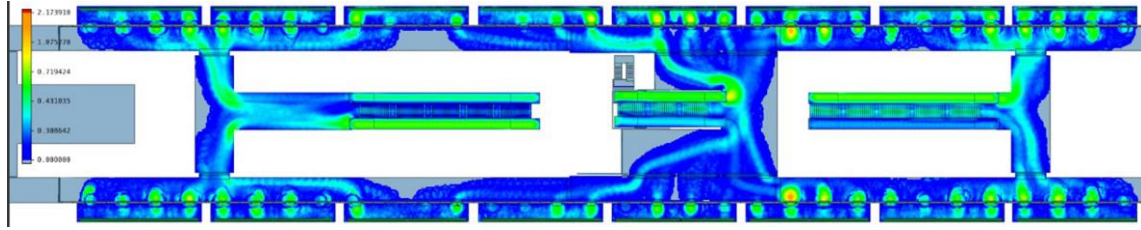
Bilet Holü yolcu simülasyonu sonuçları göstermektedir ki;

- Bu katta yolcu yükü dağılımı normaldir ve sirkülasyon açısından problem teşkil edecek noktalar bulunmamaktadır.
- 10 normal ve 2 engelli turnikesinden oluşan girişler ile 8 normal ve 2 engelli turnikesinden meydana gelen çıkış turnikelerinin sayısı, yolculuk değerlerine göre yeterli seviyededir.
- Katın orta bölümünde yer alan ve perona iniş için U dönüşü gerektiren yürüyen merdiven bağlantısı yoğun kullanımlarda çok tercih edilmeyen bir faktör olmakla birlikte; bu metro istasyonu için öngörülen yolculuk değerlerine bakıldığında bu dönüşün sirkülasyonu olumsuz etkileyecek derecede etkisinin olmadığı görülmüştür.



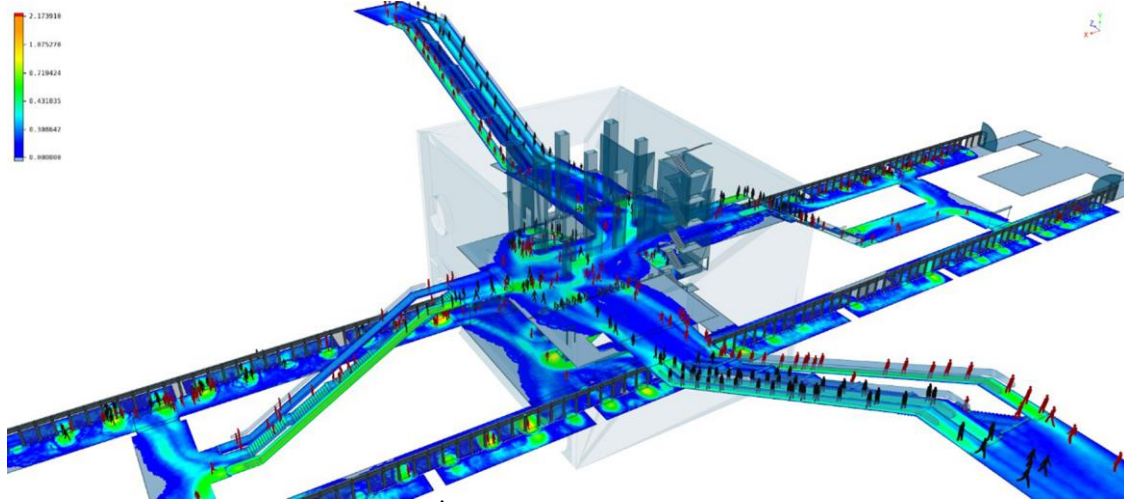
- Hem sabit hem de yürüyen merdivenler sayı ve genişlik açısından yeterlidir, konumları doğrudur.
- Bilet holünün iki yanında doğrudan peron katına erişimi sağlayan sabit merdivenler, yürüyen merdivenler ve asansörler bulunmaktadır. Belirtilen dikey sirkülasyon elemanlarının sayısı yeterlidir.

Konkors katının ardından peron katına ilişkin de 3 boyutlu simülasyon çalışması gerçekleştirilmiş, sonuç haritası Şekil 4'te verilmiştir. İstasyonun orta kısmındaki merdivenler yanlardaki merdivenlere göre daha kısa olarak gözükmetedirler. Bunun nedeni, konkors katından inişte orta kısımda bir balkon katının bulunması ve yolcuların bu katta U dönüşü yaparak peron katına ulaşmalarıdır.



Şekil 4. Peron katı ortalama yoğunluk haritası

Yoğunluk haritasına göre, peron katı yolcu yükü dağılımı normal seviyededir ve hem sirkülasyon hem de bekleme alanları sorunsuz bir şekilde hizmet vermektedir. Platformlar hem bekleyen yolcular hem de trene inip binen yolcular açısından yeterli uzunluğa ve derinliğe sahiptir. Peron katında yer yer sarı ve turuncu alanlar oluşmaktadır ki bu durum tren kapılarına denk gelen bölgelerde son derece normaldir. Bu renkler, kısa süreli bekleme olduğunu ifade etmektedir. Normal işletme senaryosuna ilişkin, metro istasyonunun tamamını kapsayan 3 boyutlu yolcu simülasyonu sonucu Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. İstasyon geneli hizmet seviyeleri

Normal işletme senaryosu doğrultusunda gerçekleştirilen 3D yolcu simülasyonu çalışması göstermiştir ki, istasyonun mimari tasarımı 2040 yılı yolculuk sayıları doğrultusunda herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Yolcu sirkülasyonu son derece rahat, ortak mekânlar ve koridorlar yeterince geniştir. Sabit ve yürüyen merdivenler ile asansörlerin konum ve sayıları yeterli, dikey sirkülasyon istasyon genelinde sorunsuzdur.

### 3.2. Acil durum tahliye senaryosu

Tahliye simülasyonu, bir yapıyı kullanan insanların acil bir durumda, standartlar tarafından belirlenen süre dâhilinde güvenli alana ulaşmaları için ayrılan tüm yatay ve dikey sirkülasyon elemanlarının, koridorların, merdivenlerin, acil çıkış noktalarının, acil çıkış kapısı genişliklerinin, kısacası insanların zarar görmeden güvenli alana geçiş için gereken tüm faktörlerin yeterli olup olmadığının test edilmesidir [29]. Bu testin gerçekleştirilebilmesi için her yapıda olduğu gibi metro istasyonlarında da uyulması gereken ulusal ve uluslararası standartlar mevcuttur. ‘TS 12127: Şehir içi yollar - Raylı taşıma sistemleri Bölüm 1: Yer altı istasyon tesisleri tasarım kuralları’ ve ‘Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’ bunlardan en önemlileridir. Ulusal standartlara ek olarak ülkemizde sıklıkla başvurulmuş temel kaynaklardan birisi de özellikle tren istasyonları, metro istasyonları, tren ve metro araçlarının kendileri, bu araçların üzerinde gittiği raylar için olması gereken standartları ve gereklilikleri içeren NFPA 130’dur. Bunların yanı sıra yolcu güvenliğine ilişkin acil durum tahliye senaryoları ile ilgili uyulması gereken kuralları da açıklamaktadır [30]. NFPA 130 tarafından metro istasyonu acil durum tahliye senaryolarının değerlendirilmesi için bazı kurallar belirlenmiştir ve bu çalışmadaki tahliye simülasyonları da bu kurallara uyularak gerçekleştirilmiştir. Acil duruma ilişkin tanımlanan bu kurallar şu şekildedir:

- Acil durumda her iki trenin de tamamen dolu olarak aynı anda istasyonda olacakları varsayılacak, hem trenlerden inen hem de o sırada platformda bekleyen yolcuların toplamı üzerinden tahliye hesapları gerçekleştirilecektir.
- Tek yön kaçış mesafesi en fazla 25 metre olmalıdır.
- Alternatifli çıkışlarda, platformun en uzak noktası ile o noktaya en yakın çıkış arasındaki mesafe 100 metreden az olmalıdır.
- Her katta bir adet yürüyen merdiven bakımda ya da servis dışı olarak kabul edilecek, tahliye hesaplarında kullanılmayacaktır.
- Acil durumda istasyondaki tüm yürüyen merdivenler yukarı yönde çalıştırılacaktır.
- Asansörler yangına dayanıklı olarak imal edilmişlerse; bir tanesi servis dışı bir tanesi de itfaiye kullanımına ayrıldıktan sonra geri kalanlar tahliye amaçlı kullanılabilir. Eğer iki ve daha az sayıda asansör varsa hiçbiri kullanılmayacaktır.
- Platformdaki tüm yolcular en fazla 4 dakika içinde tahliye olmalıdır.
- İstasyondaki tüm yolcular 6 dakika içinde güvenli alana geçmelidir.

Metro istasyonuna yönelik acil durum tahliye simülasyonunun gerçekleştirilebilmesi için öncelikle platformların tahliye edilme süresinin bulunması ve 4 dakika şartının sağlanıp sağlanmadığı anlaşılmalıdır. Bunun için de öncelikle hat bazlı acil durum tahliye yüklerinin belirlenmesi, perondan ne kadar yolcunun tahliye edileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda tren yolcu yüklerinin ve peronda tren bekleyen yolcuların sayılarının belirlenerek toplanması gerekmektedir. Tren yolcu yükü hesabına ilişkin formül Denklem 2.’de; peronda bekleyenlere ilişkin yolcu yükü hesaplama formülü ise Denklem 3.’te verilmiştir.

$$T_{yy} = T_y : 60 * P_s F * S_a * K_t \quad (3)$$

$T_{yy}$ : Tren Yolcu Yükü,  $T_y$ : Tren Yükü, Süre: 60 dk

$S_a$ : Sefer Aralığı (dk),  $K_t$ : Kaçan Tren faktörü,  $P_s F$ : Pik Saat Faktörü

Not: Sefer Aralığı 2,25 dk; pik saat faktörü 1,25; Kaçan Tren faktörü 2 olarak alınmıştır.

$$Y_y = B_y : 60 * P_s F * S_a * K_t \quad (4)$$

$Y_y$ : Peron Yolcu Yükü (Peronda Tren Bekleyen Ortalama Yolcu Sayısı)

$B_y$ : Binen Yolcu, Süre: 60 dk,  $S_a$ : Sefer Aralığı (dk),  $K_t$ : Kaçan Tren faktörü,  $P_s F$ : Pik Saat Faktörü

Not: Sefer Aralığı 2,25 dk; pik saat faktörü 1,25; Kaçan Tren faktörü 2 olarak alınmıştır.

Acil durum tahliye yükü kapasite hesabı yapılırken 2 senaryo üzerinden gidilmiştir. Yanan trenin Hat-1 veya Hat-2’de olması durumunda ortaya çıkabilecek yolcu yükleri hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir.

**Tablo 6.** Senaryo-1 acil durum tahliye yükü kapasite hesabı

SENARYO - 1											
Peronda Bekleyen Yolcu Sayısı	Binen Yolcu	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	x	Kaçan Tren Faktörü	= Yolcu Yüğü	
Hat-1 Doruk Yön	2.310	/	60	x	1,25	x	2,25	x	2	= 217 kişi	
Tren İçi Yolcu Sayısı	Tren Yüğü	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	x	Kaçan Tren Faktörü	= Tren Yüğü	Tren Maksimum Yüğü*
Hat-1 Doruk Yön	33.535	/	60	x	1,25	x	2,25	x	2	= 3.144 kişi	2.400 kişi
Peronda Bekleyen Yolcu Sayısı	Binen Yolcu	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	=	Yolcu Yüğü		
Hat-2 Normal İşletme	2.006	/	60	x	1,25	x	2,25	=	94 kişi		
Tren İçi Yolcu Sayısı	Tren Yüğü	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	=	Tren Yüğü	Tren Maksimum Yüğü	
Hat-2 Normal İşletme	53.537	/	60	x	1,25	x	2,25	=	2.510 kişi	2.400 kişi	
Acil Durum Peron Toplam Yolcu Yüğü (Yolcu + Tren Yüğü) =										5.111 Kişi	

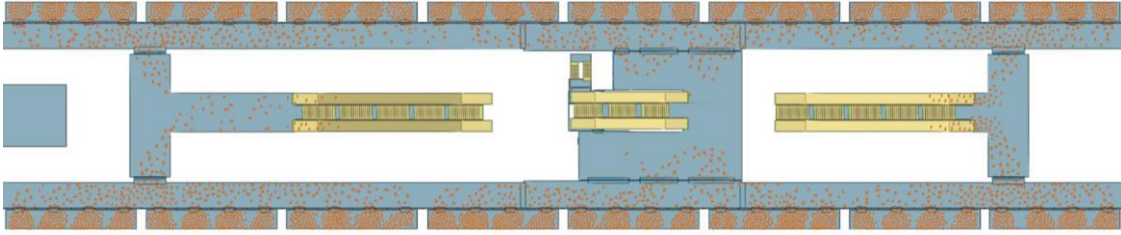
\* Tren yolcu yükünün 2400’den yüksek çıktığı durumlarda, trenin maksimum yolcu kapasitesi olan 2400 değeri esas alınmıştır.

**Tablo 7.** Senaryo-2 acil durum tahliye yükü kapasite hesabı

SENARYO - 2											
Peronda Bekleyen Yolcu Sayısı	Binen Yolcu	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	x	Kaçan Tren Faktörü	= Yolcu Yüğü	
Hat-2 Doruk Yön	2.006	/	60	x	1,25	x	2,25	x	2	= 188 kişi	
Tren İçi Yolcu Sayısı	Tren Yüğü	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	x	Kaçan Tren Faktörü	= Tren Yüğü	Tren Maksimum Yüğü
Hat-2 Doruk Yön	53.537	/	60	x	1,25	x	2,25	x	2	= 5.019 kişi	2.400 kişi
Peronda Bekleyen Yolcu Sayısı	Binen Yolcu	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	=	Yolcu Yüğü		
Hat-1 Normal İşletme	2.310	/	60	x	1,25	x	2,25	=	108 kişi		
Tren İçi Yolcu Sayısı	Tren Yüğü	/	Süre (dk)	x	Zirve Saat Faktörü	x	Sefer Aralığı (dk)	=	Tren Yüğü		
Hat-1 Normal İşletme	33.535	/	60	x	1,25	x	2,25	=	1.572 kişi		
Acil Durum Peron Toplam Yolcu Yüğü (Yolcu + Tren Yüğü) =										4.268 Kişi	

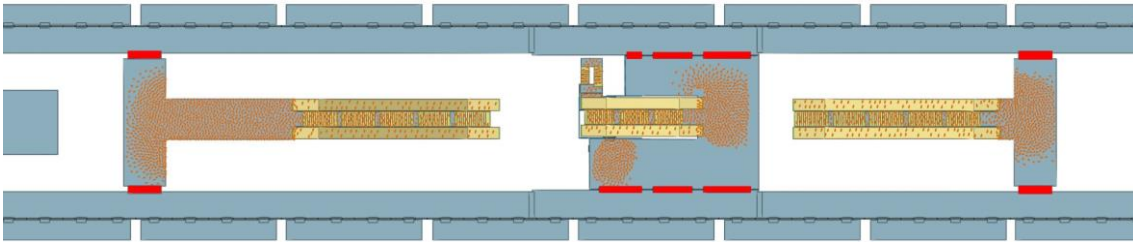
Senaryo 1 neticesinde acil durum peron yolcu yükü 5111 kişi olarak tespit edilmiş, Senaryo 2 neticesinde ise 4268 olarak belirlenmiştir. En kötü durumun simüle edilmesi gerekliliğinden dolayı, 3 boyutlu yolcu simülasyonu kapsamında Senaryo 1 sonucunda ortaya çıkan 5111 değeri kullanılmıştır. Simülasyon kapsamında; Hat-1 üzerinde yer alan trenden 2400 kişi ve Hat-2

üzerinde yer alan trenden 2400 kişi inmiş; istasyonda Hat-1 trenini bekleyen 217 kişi ile Hat-2 trenini bekleyen 94 kişi de simülasyona dâhil edilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. İnsan hareketleri sadece mesafelere, alan hesaplarına ve standartlara göre değil aynı zamanda istasyon tasarımına göre de şekillenmekte ve değişmektedir. Kötü tasarlanmış bir istasyonda kısa mesafelere ve çok sayıda çıkışa rağmen zamanında tahliye gerçekleşmeyebilirken, iyi tasarlanmış bir istasyonda da tam tersine çok daha olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Simülasyonun başlangıç durumunu göstermek adına simülasyonun ilk saniyelerinden bir görüntü aşağıda verilmiştir. Her vagonun 300 kişi inmekte ve her trende 8 vagon bulunmaktadır.



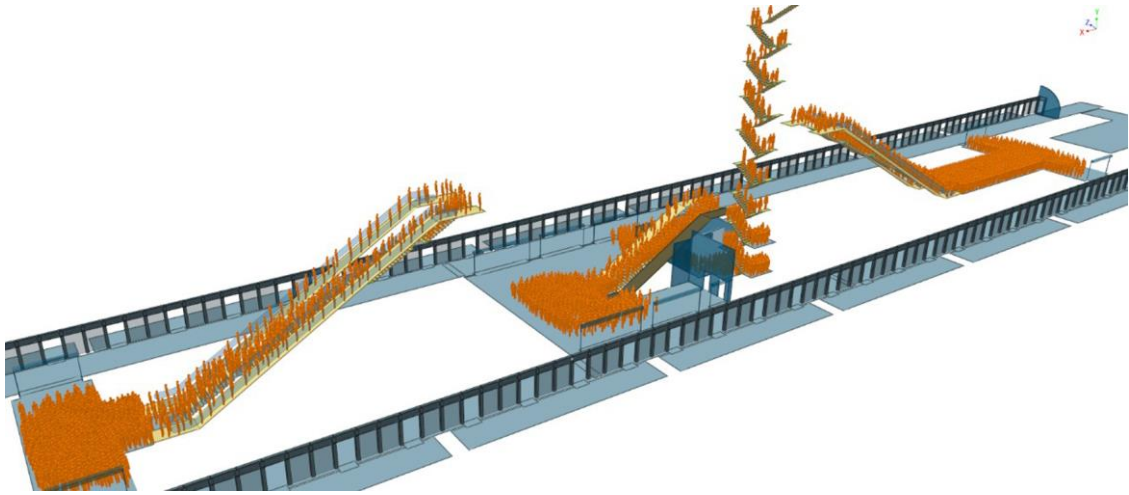
Şekil 6. Acil durum tahliye simülasyonu başlangıç durumu

Peron katında yolcuların tahliyesi için kullanılacak dikey sirkülasyon elemanları; 3 adet sabit merdiven, 5 adet yukarı yönlü çalıştırılacak yürüyen merdiven ve 1 adet de acil durum merdiveni olarak tespit edilmiştir. Bu kapsamda Massmotion yazılımı ile gerçekleştirilen tahliye simülasyonunda, platformlardaki yolcuların tahliye süresi 6 dakika 45 saniye olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre, peron katında 4 dakika hesabının gereklerinin sağlanamadığı açıkça görülmüş ve güvenli alanın peron katında tesis edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle mimari tasarım aşamasında peron katında gerekli yerlere yangın ve duman perdeleri eklenerek güvenli alanlar oluşturulmuştur. Düşey olarak kolonların arasında kalan bölgelere yerleştirilen yangın perdeleri hem ısı hem de duman geçişini engellemektedirler. Dolayısıyla, otomatik ya da manuel olarak inen bu perdeler yolcular için peron katında güvenli bir alan oluşmasını sağlamaktadırlar. Peron katına yerleştirilen yangın perdelerinin konumları ve platformlardaki yolcuların güvenli alana geçtikleri an Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Yolcuların perondaki güvenli alana geçişlerinin tamamlandığı ana ait görüntü

3D yolcu simülasyonu sonuçlarına göre yolcuların peron katında oluşturulan bu güvenli bölgeye geçişleri 3 dakika 50 saniyede sağlanmaktadır. Bu süre 4 dakika hesabına uygundur. Yolcuların perondaki güvenli alana geçişlerinin tamamlandığı ana ait görüntü Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Yolcuların perondaki güvenli alana geçişlerinin tamamlandığı ana ait görüntü

İstasyondaki tüm yolcuların güvenli alana geçme süresi ise 5 dakika 45 saniye olup, 6 dakika kuralını sağlamaktadır.

#### 4. Sonuç

Metro istasyonlarının mimari tasarım süreçlerine ilişkin normal işletme ve acil durum tahliye simülasyonu çalışmalarının 3 boyutlu simülasyon teknolojisi kullanılarak ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda nasıl yapılması gerektiğini örnek bir metro istasyonu üzerinden uygulamalı olarak gösterme amacı taşıyan çalışma başarıyla tamamlanmıştır. Genel olarak kapasite analizi ve hizmet seviyesi hesaplamaları üzerinden ilerleyen çalışmada ajan tabanlı modelleme ve sosyal kuvvetler algoritması altyapısına sahip üç boyutlu Massmotion yaya simülasyonu yazılımı kullanılmış, gerek görsel gerekse teknik açıdan tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen kapasite analizi sonuçlarına göre; peron katı, konkors, teknik kat ve girişlerdeki yolcu yoğunlukları herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. İstasyonda yer alan yatay ve dikey sirkülasyon elemanlarının sayıları ve genişlikleri mimari tasarım kriterleri açısından yeterlidir. Yolcular konforlu ve güvenli bir şekilde metro istasyonunu kullanmakta, tasarım kaynaklı süre kayıpları yaşamadan hedeflerine en kısa sürede ulaşabilmektedirler.

Güncel teknolojilerin hayatın birçok alanında olduğu gibi mimari tasarım süreçlerinde simülasyon amaçlı kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Buna rağmen ülkemizde 3 boyutlu yaya simülasyonu teknolojileri kullanımı hala çok düşük seviyededir. Kamu kurumları ve özel teşebbüsler zaman zaman bu teknolojileri kullanmakta ve simülasyon raporları hazırlamaktadırlar. Fakat bu raporlar genelde işveren ve yüklenici firma arasında kalmakta, herkesin ulaşabileceği ve faydalanabileceği bilimsel yayınlara dönüşmemektedir. Literatür taraması da ulusal yayınların bu konudaki kısıtlılığını göstermektedir. Sürece ilişkin gerekli tüm detayların verildiği bu çalışmanın uygulayıcılara yol göstermesi, literatüre katkı yapması ve daha ileri seviyedeki çalışmalara altlık teşkil etmesi ümit edilmektedir.

#### Kaynakça

- [1] J. M. Joshua, "Urbanization," 2014. [Online]. Available: <https://www.worldhistory.org/urbanization/> [Accessed: 18-Apr-2022].
- [2] Britannica, "Urbanization - Impact of the industrial revolution," 2021. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/topic/urbanization/Impact-of-the-Industrial-Revolution>. [Accessed: 16-Apr-2022].

- [3] Türkiye İstatistik Kurumu, “Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları,” 2021. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500>. [Accessed: 15-Apr-2022].
- [4] C. Shi, M. Zhong, X. Nong, L. He, J. Shi ve G. Feng, “Modeling and safety strategy of passenger evacuation in a metro station in China,” *Saf. Sci.*, vol. 50, pp. 1319-1332, 2012.
- [5] F. Gültekin, “İstanbul Büyükşehir Belediyesi Metro İstanbul A.Ş.,” 2022. [Online]. Available: [www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6916702672972607488/](http://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6916702672972607488/). [Accessed: 11-Apr-2022].
- [6] P. Clifford, “Passenger simulation modelling in station planning and design,” *Wit. Trans. Built. Env. Computers in Railways*, vol. 18, pp. 229-237, 1996.
- [7] Z. Li, S. M. Lo, J. Ma ve X. W. Luo, “A study on passengers’ alighting and boarding process at metro platform by computer simulation,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 132, pp. 840-854, 2020.
- [8] S. Seriani ve R. Fernandez, “Pedestrian traffic management of boarding and alighting in metro stations,” *Transp. Res. Part C Emerging Technol.*, vol. 53, pp. 76-92, 2015.
- [9] C. Zhang, B. Han, Y. Wang ve W. Zhou, “Pedestrian gathering and evacuating simulation and facilities optimized analysis of Wangfujing Station of Beijing Metro,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 744-746, pp. 2094-2097, 2015.
- [10] H. Yin, J. Wu, Z. Liu, X. Yang, Y. Qu ve H. Sun, “Optimizing the release of passenger flow guidance information in urban rail transit network via agent-based simulation,” *Appl. Math. Model.*, vol. 72, pp. 337-355, 2019.
- [11] M. Zhong, C. Shi, X. Tu, T. Fu ve L. He, “Study of the human evacuation simulation of metro fire safety analysis in China,” *J. Loss. Prev. Process. Ind.*, vol. 21, pp. 287-298, 2008.
- [12] A. Kallianiotis, D. Papakonstantinou, V. Arvelaki ve A. Benardos, “Evaluation of evacuation methods in underground metro stations,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 31, pp. 526-534, 2018.
- [13] F. Li, S. Chen, X. Wang ve F. Feng, “Pedestrian evacuation modeling and simulation on metro platforms considering panic Impacts,” *Procedia Soc. Behav. Sci.*, vol. 138, pp. 314-322, 2014.
- [14] B. C. K. Siong, B. C. J. Jun ve K. S. Yen, “Evacuation simulation modeling for a deep underground subway station,” *Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, 2020.
- [15] E. D. Özdamar, “Yeraltı metro istasyonlarında pasif yangın güvenlik önlemleri: tahliye sürecinin incelenmesi ve bir örneklem,” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık ABD Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2020.
- [16] G. Koç ve Ö. C. Ceylan, “Metro istasyon ve tünellerinin acil durum havalandırmasında yeni yaklaşımlar ve uygulama esasları,” *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2013.
- [17] C. Kırlangıçoğlu ve M. F. Döker, “Şehir planlama ve mimari tasarım sürecinde yaya simülasyonu teknolojilerinin kullanımı,” *International Journal of Human Sciences*, vol. 15, no. 3, 2018.
- [18] G. B. Türkölmez ve M. Güneş, “Metro servis sistemlerinde acil tahliye modelleri: İzmir metro uygulaması,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 22, no. 4, pp. 324-339, 2016.
- [19] NetworkRail, “Station capacity assessment guidance,” 2011. [Online]. Available: [https://www.networkrail.co.uk/wp-content/uploads/2021/06/NR\\_GN\\_CIV\\_100\\_02\\_Station-Design.pdf](https://www.networkrail.co.uk/wp-content/uploads/2021/06/NR_GN_CIV_100_02_Station-Design.pdf). [Accessed: 19-Apr-2022].
- [20] E. M. Cepolina, F. Menichini ve P. G. Rojas, “Level of service of pedestrian facilities: modelling human comfort perception in the evaluation of pedestrian behaviour patterns,” *Transp. Res. Part. F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 58, pp. 365-381, 2018.
- [21] J. J. Fruin, *Pedestrian planning and design*, New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [22] A. Azadpeyma ve E. Kashi, “Level of service analysis for metro station with transit cooperative research program (TCRP) manual: a case study—Shohada Station in Iran,” *Urban Rail Transit*, vol. 5, pp. 39-47, 2019, doi: 10.1007/s40864-018-0098-0.
- [23] E. Bonabeau, “Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, pp. 7280-7287, 2002.
- [24] T. Richards, “A review of software for crowd simulation,” 2021. [Online]. Available: [https://urban-analytics.github.io/dust/docs/ped\\_sim\\_review.pdf](https://urban-analytics.github.io/dust/docs/ped_sim_review.pdf). [Accessed: 10-Apr-2022].
- [25] M. Mashhadawi, “Massmotion evacuation model validation,” 2016. [Online]. Available: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8875378&fileId=8875380>. [Accessed: 14-Apr-2022].
- [26] D. O’Donnell, T. Roberts ve P. Debney, “Massmotion – a step in the right direction,” 2013. [Online]. Available: <https://www.oasys-software.com/wp-content/uploads/2018/09/MassMotion-%E2%80%93-A-Step-In-The-Right-Direction-Interflam-2013.pdf>. [Accessed: 16-Apr-2022].

- [27] Arup, “The verification and validation of MassMotion for evacuation modelling,” 2015. [Online]. Available: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8875378&fileId=8875380>. [Accessed: 17-Apr-2022].
- [28] D. Helbing ve P. Molnar, “Social force model for pedestrian dynamics,” *Phys. Rev. E*, vol. 51, pp. 4282-4286, 1995, doi: 10.1103/PhysRevE.51.4282.
- [29] *NFPA Standard for fixed guideway transit and passenger rail systems*, NFPA 130, National Fire Protection Association, 2019.
- [30] B. O'Connor, “Means of egress with NFPA 130,” 2021. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Blogs-Landing-Page/NFPA-Today/Blog-Posts/2021/08/27/Means-of-Egress-with-NFPA-130#>. [Accessed: 18-Apr-2022].

### Özgeçmiş



#### Cem KIRLANGIÇOĞLU

1981 yılında İzmir’de doğmuştur. Lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde, yüksek lisansını Orta Doğu Teknik Üniversitesinde, doktorasını ise İstanbul Üniversitesinde tamamlamıştır. Sakarya Üniversitesi Mimarlık Bölümünde Doçent olarak görev yapmaktadır. Ulaşım Planlaması, Yaya Simülasyonu, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Sanal Gerçeklik alanlarında çalışmalar gerçekleştirmektedir.

E-Posta: [kirlangicoglu@sakarya.edu.tr](mailto:kirlangicoglu@sakarya.edu.tr)

#### Beyan:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.