



# Metro servis sistemlerinde acil tahliye modelleri: İzmir metro uygulaması

## Emergency evacuation models in subway service systems: An application on Izmir (Turkey) subway system

Gökçe BAYSAL TÜRKÖLMEZ<sup>1\*</sup>, Mustafa GÜNEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ekonometri Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
gokce.baysal@deu.edu.tr

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gediz Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
mustafa.gunes@gediz.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.06.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 25.11.2015

doi: 10.5505/pajes.2015.57855

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Büyük şehirlerde nüfus yoğunluğunun her geçen gün artması ulaşım sorununu da beraberinde getirmektedir. Kalabalık trafik için toplu taşıma etkin bir çözüm olmaktadır. Toplu taşıma için hızlı ve verimli bir alternatif olan metro sistemi diğer alternatiflere göre ağırlıklı bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak metro sisteminin genellikle yeraltında olması, çok fazla sayıda insanın taşınması ve giriş-çıkış noktalarının turnikelerle kontrol edilmesi, metro vagonlarında, metro hatlarında ve metro istasyonlarında oluşabilecek bir felakette insanların tahliye edilmesini zorlaştırmaktadır. Bir acil durumda insanların sistemden ne kadar sürede tahliye edilebileceğini bilmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İzmir metro sisteminde en kalabalık istasyonlardan biri olan Konak istasyonu acil tahliye modelleri kullanılarak incelenmiş ve tahliye simülasyonu Simulex programıyla oluşturulmuştur. Acil durum tahliyesi 3 farklı senaryo ile modellenmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sistem geliştirme, Acil tahliye modelleri, Simülasyon

### Abstract

Increasing population in crowded cities causes transportation problems. Public transportation is an effective solution for the crowded traffic. Subway is a fast and productive alternative for public transportation so it is a highly preferable choice in others. It is hard to evacuate people in subway station during a disaster in carriages, on subway line or in subway stations because subway systems are often located underground, a lot of people use it at the same time and enter-exit gates are controlled by turnstiles. It is crucially important to know the evacuation time of people from subway. In this paper, Konak station, one of the most crowded stations of Izmir Subway System is analyzed by emergency evacuation models. The evacuation process is simulated by Simulex software. The emergency evacuation problem is modeled in three different scenarios. Solution offers are developed for them.

**Keywords:** System development, Emergency evacuation models, Simulation

## 1 Giriş

Kazaların (örneğin; yangın, bomba tehdidi veya toksik gaz yayılması) binalarda (örneğin; tiyatro, sinema, stadyum, alışveriş merkezi veya bir havaalanı terminali) yoğunlukla insan hayatını tehdit edecek kadar ciddi sonuçları olmaktadır. Binaların kapalı alanlar olması sebebiyle mevcut fiziksel kısıtlar ya da bina içinde akışı etkileyen sabit veya hareketli engeller (mobilyalar, turnikeler, kapılar gibi) nedeniyle yayaların tahliyesi oldukça zor ve önemli bir konudur. Eğer binadaki insanlar, bu engeller veya yanlış çıkış seçimi yüzünden binadan zamanında kaçmayı başaramazlarsa, yangın, bomba veya toksik gaz sebebiyle yaralanabilir veya ölebilirler. Aynı zamanda, kalabalığın davranışı (örneğin; aynı anda çıkışa doğru koşuşturma, karışıklık, itişme, çarpışma ve ezilme) yaralanma ve ölümlerle sonuçlanabilir [1]. Kalabalığın doğru bir şekilde çıkışlara doğru yönlendirilmesi, binayı tahliye edecek en kısa ve uygun yolun belirlenmesi, çıkış işaretlerinin ve uyarıların zamanında ve herkes tarafından anlaşılır şekilde yapılması hayatta kalan insan sayısını belirleyen önemli faktörlerdendir. Bina içindeki insanların bir kısmı binada çalışan ve binanın çıkış yollarını bilen kişilerden oluşabilir. Ancak bir alışveriş merkezi ya da bir havaalanı terminali gibi farklı insanların binayı sınırlı sürelerde ziyaret ettiği durumlarda, bina planlarını veya çıkış yollarını bilmeyen çok sayıda insanın bir acil durumda binayı hızlı bir şekilde terk etmesini sağlamak zor bir süreçtir. Büyük miktarda kalabalığın

her gün kullandığı, turnikeler ve merdivenler gibi engellerin yer aldığı kapalı alanlardan olan metro istasyonları, bir acil durumda yolcuların tahliyesinin etkin bir şekilde sağlanması için öncelikli olarak incelenmesi gereken yapılardır. Metro istasyonları daha çok yer altında inşa edildiği için, insanları sağlıklı bir şekilde tahliye edecek sistemi kısıtlamaktadır.

Bu çalışmada İzmir'deki metro sistemi için acil durumlarda uygulanabilir, etkin tahliye modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda İzmir metrosundan temin edilecek verilerle metro parametrelerinin tahmini yapılmıştır. İzmir Metro sisteminin en kalabalık istasyonlardan biri olan Konak istasyonu seçilmiştir. Metro parametrelerinin analizi sonucunda reel sistem bilgisayar ortamına taşınarak Simulex simülasyon programı yardımıyla metro yapısının davranışı türetilmiştir. Bu davranış türetme operasyonlarında modifikasyonlar yapılarak alternatif uygulanabilir tahliye sistemlerinin bulunması sağlanmıştır. Elde edilecek istatistiklerin analizi ile İzmir metro sistemi için acil durumda uygulanabilecek en iyi tahliye modeli tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma gerçek metro planı, metro ve tren vagonu ölçüleri ve maksimum yolcu sayıları esas alınarak modellenildiği ve simüle edildiği için metroda olabilecek en kalabalık durumu yansıtmaktadır. Gerçek veriler kullanılması, Konak metro istasyonunun tahliyesini doğru bir şekilde izlemeye imkan vermesi nedeniyle önemli bilgiler sağlamaktadır.

Çalışma ayrıca, metro sisteminde yaya tahliye simülasyonu yapan Türkiye'deki ilk çalışma olma özelliğindedir. Türkiye'deki bu alanda yapılan çalışmalar çoğunlukla metro sisteminde yangın, zehirli gaz, duman ve hava akış simülasyonlarına odaklanmaktadır [2]-[7]. Yolcuların kapalı alanlarda buldukları süre içindeki faaliyetlerini inceleyen anket tabanlı istatistiksel çalışmalar [8], tıbbi yardım faaliyetleri ile ilgili araştırmalar [9] ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımıyla ilgili araştırmalar [10]'da mevcuttur.

## 2 Önceki çalışmalar

Son yıllarda kapalı alanların ve metro alanlarının tahliyesi ile ilgili önemli çalışmalar yapılmaktadır. Toplu taşımada yolcu hareketinin incelenmesi; yolcu karakteristikleri, tahliye süreleri ile ilgili önemli diyagramlar, yol seçimi ve simülasyonları içerir [11]. Daly ve diğ. [12] yayaların hız ve akış ilişkilerini incelemiş, Daamen ve diğ. [13] yol seçim davranışlarını araştırmıştır. Hong Kong MTR (Mass Transit Railway) istasyonlarında Lam ve grubu yaya akış karakteristikleri üzerinde ayrıntılı bir araştırma yapmış [14], Cheung ve Lam [15] yol seçimi konusunu incelemiş ve Lee ve diğ. [16] metro sisteminin simülasyon modelleri üzerinde çalışmışlardır. Hoogendoorn ve Daamen [17] yaya akışında giriş kapılarının etkisini tahminlemek için NOMAD simülasyon modelini önermişlerdir. Tipik simülasyon modelleri olarak Pedroute [18] ve toplu yerleşimde yaya davranışları için SimPed modelini yürüyüş, yol seçimi ve diğer çıkış faaliyetleri için [19] oluşturmuşlardır. Birçok uzman ve araştırmacı ağ tahliye modelleri ve grid tahliye modelleri geliştirmişlerdir [20]. Yayaların etkileşimini içermeyen, sadece ortak karakteristiklere göre oluşturulan modeller örneğin EVACNET 4 [21], Takahashi'nin modeli [22] yanında, binanın fiziksel özellikleriyle birlikte yayaların bireysel davranışlarını içeren modeller, örneğin SIMULEX [23] ve BuildingExodus [24] geliştirilmiştir. Bu araştırmalarda ulaşılmak istenen sonuç, acil durumda yayaların kapalı alanlardan en etkin ve hızlı bir şekilde tahliyesini gerçekleştirmektir.

Spesifik projeler için uygun modeli seçmede model kullanıcılarına yardımcı olacak bazı çalışmalar yapılmıştır. Friedman [25], acil çıkış (egress) modelini incelemiştir. Olenick ve Carpenter [26], Friedman tarafından belirlenenden yaklaşık dört kat daha fazla tahliye modelini kendi araştırmalarında tanımlamışlardır. Bununla birlikte, optimizasyon, simülasyon ve risk değerlendirme olarak isimlendirilen üç farklı yaklaşımı temel alan 22 tahliye modeli sınıflandırılmıştır [20]. Son yıllarda, Kuligowski [27], bina sakinlerinin davranışlarındaki karmaşıklık seviyesini temel alan 28 farklı çıkış modeli sınıflandırmıştır. Diğer bir çalışmada, Santos ve Aguirre [28], akış-temelli, hücrel otomasyon ve ajan-temelli modelleri içeren simülasyon metodlarından acil tahliye simülasyon modellerinin kritik bir incelemesini tanımlamıştır. Bu modeller yazılım araçları olmaktadır. Örneğin, BGRAF her türde binayı simüle ederken, EXITT konutları simüle etmektedir. Zheng ve diğ. [1], Friedman [25], Olenick ve Carpenter [26], Gwynne ve diğ. [29], Kuligowski [27], Santos ve Aguirre'nin [28] yaptığından farklı bir çalışma yapmıştır. Sistematik olarak kalabalık tahliye modeli, yedi metodolojik yaklaşımı temel alarak özetlenmektedir. Bu yaklaşımlar; hücrel otomasyon modelleri, kafes gaz modelleri (lattice gas models), sosyal kuvvet modelleri, akışkan-dinamiği modelleri gibi tipik modellerle birlikte, ajan-temelli modeller, oyun teorisi modelleri ve hayvanlarla yapılan deneyler gibi yenilikçi modelleri içermektedir (Tablo 1). Hayvanlarla yapılan

deneyleri temel alan yaklaşımlar (örneğin; fareler ve karıncalarla yapılan deneyler) tahliye dinamiklerinin belirlenmesi için geliştirilmektedirler. Bu deneyler, kalabalık tahliyesi için geliştirilen yaklaşımları anlamaya yardım etmektedir. Ayrıca, bu yaklaşımlarla daha gerçekçi bir tahliye simülasyonu oluşturulabilmektedir [1].

Tablo 1: Tahliye modellerini (yaklaşımlarını) belirleyen altı özellik türü [1].

Özelliklerin Çeşitleri	Tanımlamalar
Yaklaşımlar	Yedi modelleme yaklaşımı kombinasyon içinde ve ayrı olarak, kalabalık tahliyesi çalışmasına uygulanır. Bunlar hücrel otomasyon, kafes gaz, sosyal kuvvetler, akışkan dinamiği, ajan tabanlı, oyun teorisi ve hayvanlarla yapılan deneyleri temel alan yaklaşımlardır.
Bireyler/gruplar	Bazı modellerde (yaklaşımlarda), yayalar ideal olarak homojen bireyler olarak düşünülürler. Bununla birlikte, diğerlerinde, yayalar niteliklerin farklılığına göre (cinsiyet, yaş, psikoloji gibi) heterojen bireyler olarak görülürler.
Ölçek	Bazı modellerde (yaklaşımlarda), çok sayıda birey arasındaki karmaşık etkileşimden (kendini-yönetme etkileri) ortaya çıkan kolektif fenomende, yaya dinamikleri mikroskobik ölçekte modellenir. Diğerlerinde, yayaların kalabalığı bir bütün olarak düşünüldüğünde, yaya dinamikleri makroskobik ölçekte modellenir.
Uzay ve Zaman	Bazı modelleme yaklaşımları uzay ve zaman içinde kesikli, diğerleri süreklidir.
Durumlar	Kalabalık hareketi normal ve acil durumlar içinde tanımlanır.
Tipik fenomen	Farklı davranışlar yaya akış simülasyonunda yeniden üretilebilir.

### 2.1 Tahliye modellerinin genel yapısı

Tasarımcılara, binalarda tahliye zamanlarını tahminleme yollarını sağlamak için geliştirilmiş birçok model vardır. Yaya simülasyonu için modellerin büyük miktarı çeşitli disiplinlerde yıllar içinde geliştirilmiştir (bilgisayar grafikleri, robotik, tahliye dinamikleri, vs.). Bu modeller, iki alt sette sınıflandırılabilir: makroskobik ve mikroskobik modeller.

#### 2.1.1 Makroskobik modeller

Makroskobik modeller bir bütün olarak sisteme odaklanır. Yayaları bireysel olarak değil, tüm yayaları bütün olarak inceler. Makroskobik modeller; regresyon modellerini, yol seçim modeli, kuyruk modelleri ve gaz-kinetik modellerini içerir [30].

#### 2.1.2 Mikroskobik modeller

Mikroskobik modeller yayaların davranışları, bireysel kararları ve kalabalıktaki diğer yayalarla etkileşimine odaklanır. Sosyal kuvvetleri (partikül sistemlerini), kural tabanlı ve hücrel otomasyon modelleri, akışkan-dinamiği modeli, ajan-tabanlı

model, oyun teorisi modeli ve hayvanlarla yapılan deneyleri temel alan yaklaşımları içerir [30]. Bilgisayar grafiklerindeki araştırma modelleri, aynı zamanda bir otonom yolda sanal insan ve hayvanların davranışlarını yaratan yolları bulmak için mikroskobik modeller olarak incelenir. Grafikselleştirilmiş görüntü gerçekliği ile gerçek vücut ve bacak hareketlerini tanımlar.

Mikroskobik modellerden yararlanarak kalabalık tahliyesi simüle etmek için kullanılan en genel teknikler sosyal kuvvetler ve hücrel otomasyon modelleridir. Bunlar arasındaki temel fark sosyal kuvvetler modeli sürekli, hücrel otomasyon modeli kesikli uzayda oluşturulmaktadır [30].

## 2.2 Tahliye modelleri için kullanılan bilgisayar simülasyonları

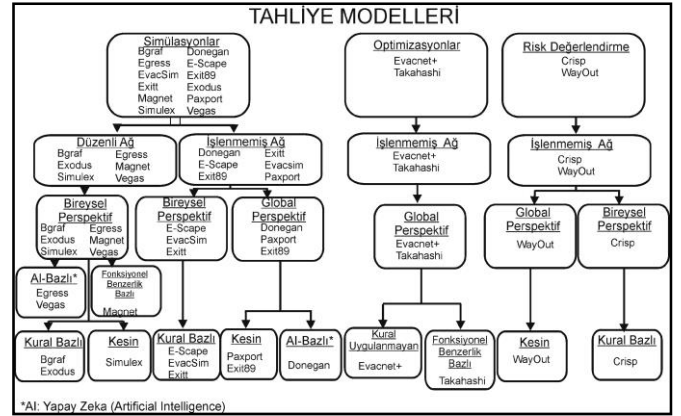
Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), son yıllarda kalabalık simülasyon yazılımları üzerine bir araştırma yapmıştır [27]. Ticari uygulamalar çıkışa göre (çıkış oranları, yoğunluklar, tıkanıklık alanları, tahliye zamanları, vs.) geçerli tahliye sistemlerine odaklanmaktadır. Hem makroskobik hem de mikroskobik yaklaşımları kullanırlar. Mikroskobik yaklaşımlar bireyselliğe ve bununla birlikte farklı davranışlara ve psikolojik elemanlara izin verirler. Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan mikroskobik modeller, sosyal kuvvetler ve hücrel otomasyon modelleridir. Buna karşılık, araştırma yöntemleri statik engeller ve diğer ajanları önleyen çok daha kompleks sanal ortamları yönlendirebilen otonom ajanlar geliştirmeye odaklanmaktadır. Bunlar açıkça mikroskobik modellerdir. Buna ek olarak gerçekçi vücut, bacak hareketleri ve grafik gösterim gerçekliğine sahiptirler [20].

Bilgisayar simülasyon modelleri olarak tanımlanmış 22 tahliye modeli vardır. Bunlardan 16 model genel olarak kullanılmaktadır, 6 modelin geliştirilme aşamasında olduğu bilinmektedir. Bu modeller yaklaşımları ve gelişme düzeyi ile ilgili alt bölümlere ayrılırlar [20]. Açıklığı arttırmak için Tablo 2'deki kısaltmalar kullanılmıştır:

Tablo 2: Model isimlerinin kısaltmaları [20].

Kısaltma	Model Adı	Referans
BG	BGRAF	[31].
C	CRISP	[32],[33].
DE	DONEGAN'IN ENTROPİ YÖNTEMİ	[34].
EG	EGRESS	[35],[36].
EXO	EXODUS	[24],[37].
EP	E-SCAPE	[38].
EV	EVACNET+	[21], [39]
ES	EVACSIM	[40],[41].
E89	EXIT89	[42].
E	EXITT	[43],[44].
MG	MAGNETMODEL	[45].
PP	PAXPORT	[29],[46].
S	SIMULEX	[47],[48].
TF	TAKAHASHI'NİN MODELİ	[22].
V	VEGAS	[49],[50].
WO	WAYOUT	[51].

Bu modeller arasındaki ilişkiler Şekil 1'deki grafikte gösterilmiştir. Yukarıda bahsedilen modellere ek olarak, diğer altı modelin farklı geliştirme seviyelerinde oldukları bilinmektedir. Henüz geliştirme süreçleri tamamlanmadığı için bu modellere yer verilmemiştir.



Şekil 1: Tahliye metodolojilerini gösteren diyagram [52].

## 2.3 Kapsanan alanın gösterimi

Tüm modellerde, tahliyenin yer aldığı alan gösterilmelidir. İki metot genellikle alanın gösterilmesinde kullanılır: düzenli ve işlenmemiş ağlar (Şekil 1). Her durumda, uzay alt alanlara bölünür ve her alt alan kendi komşularına bağlıdır. Bu alt bölümlerin çözünürlüğü iki yaklaşımı farklılaştırır [52].

*Düzenli ağlar* yaklaşımı kullanılan {BG [31], EG [35], [36], EXO [24],[37], MG [45], S [47], [48], V [49] [50]} modellerinde, kapsanan alandaki tüm kat uzayı genellikle karolar ve düğümlerin bir derlemesiyle kaplanır. Bir düğümün hacmi ve şekli modelden modele değişir. Örneğin, EXODUS tipik olarak 0.5 x 0.5 m<sup>2</sup> nodlar kullanır, SIMULEX 0.25 x 0.25 m<sup>2</sup> ve EGRESS tek insan için yetecek hacimde hegzagonal düğümler kullanır. Düğümlerin bağlantısı da modelden modele farklılık göstermektedir. EXODUS'ta her düğüm kedisiz komşusuna bağlıyken, SIMULEX her düğümü komşusu olan 16 düğüme bağlar ve EGRESS'de her düğüm 6 komşusuna bağlıdır [52].

*İyi işlenmemiş ağ* yaklaşımında {C [32],[33], DE [34], E89 [42], E [43],[44], EP [38], ES [40],[41], EV [21],[39], PP [29],[46], TF [22], WO [51]}, geometri gerçek yapıdan türetilen bölümlere göre belirlenir. Böylece her düğüm fiziksel hacmine bağlı olmaksızın bir oda ya da koridoru gösterebilir. Düğümler yapı içindeki gerçek bağlantıyı gösteren yaylarla bağlantılıdır. Bu modellerde, bina sakinleri bölümden bölüme hareket ederler ve tam konuları düzenli modellerdekinden daha az belirlidir. Bir bina sakini bir oda içindeki bir alandan diğerine hareket etmek yerine bir odadan bir odaya hareket eder [52]. Bu yapı bireyin hareketinin detaylı hesaplamalarını ve bireyler arasındaki etkileşimi göstermez, çünkü burada bireyin tam konumu gösterilmemektedir.

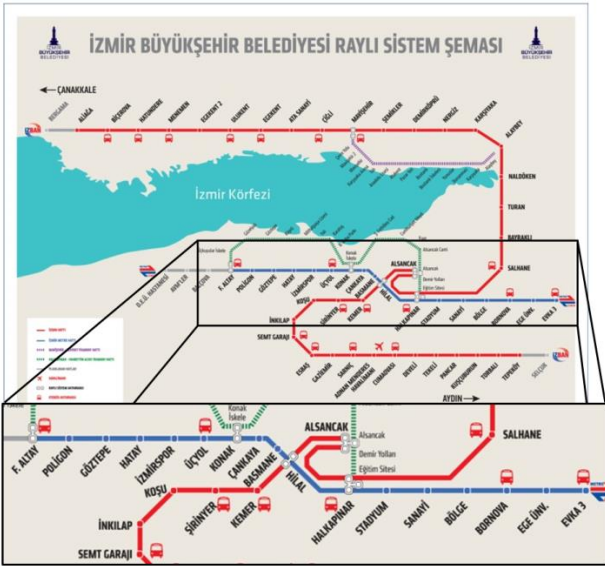
Çalışmanın uygulamasında, tahliyesi yapılacak alanı mikroskobik perspektifte inceleme, tahliye edilen kalabalığı bireyler olarak gösterme ve analiz etme yeteneğine sahip olmasından dolayı IES firması tarafından üretilen Virtual Environment 5.9 paket programının Simulex modülü kullanılmıştır.

## 3 Uygulama

Uygulama alanı olarak, İzmir metro sisteminden örnek olarak alınan Konak istasyonunda yolcu tahliye simülasyonu yapılmıştır. İzmir metrosunun Mayıs 2000 tarihinde açılan



Üçyol-Bornova (10 istasyon-11.5 km) 2012 yılı Mart ayında açılan Ege Üniversitesi-Evka3 (2 istasyon-2.4 km), yine yılın Aralık ayında hizmete giren İzmirspor-Hatay (2 istasyon-1.7 km) ve 2014 yılı Mart ayında hizmete başlayan Göztepe istasyonu olmak üzere toplam 15.7 km'lik hat güzergâhında her gün yaklaşık 200.000'in üzerinde yolcu taşınmaktadır (Şekil 2). İstasyonların dördü (Üçyol, Konak, Çankaya, Basmane) yeraltında, ikisi viyadük üstünde (Hilal ve Stadyum), üçü yer seviyesinde (Halkapınar, Sanayi, Bölge) ve biri de (Bornova) üstü açık yarma tünel içinde yer almaktadır. İstasyonlar arası uzaklık 0.8 km ile 1.6 km arasında değişmektedir. Üçyol, Hilal ve Stadyum istasyonları "yan", geri kalanları "ada" tipi istasyonlardır. İstasyon peronlarının boyu beşli araç dizisinin işleyişine imkân verecek kapasitede, 2012 yılında işletime açılan Ege Üniversitesi, Evka 3, İzmirspor-Hatay istasyonları ve 2014 yılında işletime açılan Göztepe istasyonu yer altında olup 5 istasyon da kenar perondur. 125 m uzunlukta inşa edilmiştir. İzmir Metro'su, 5 dakikalık sefer sıklığı ve üçlü araç dizileriyle günde 800 bin; 5 dakikalık sefer sıklığı ve beşli araç dizileriyle günde 1.7 milyon yolcuya ulaşım hizmeti vermektedir. Araçların her birinde 44 koltuk bulunmakta ve azami olarak her bir vagon 324 kişi taşıyabilmektedir [53].



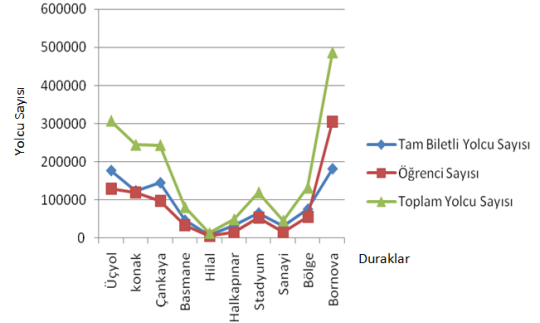
Şekil 2: İzmir metrosu güzergah haritası [54].



Şekil 3: Konak istasyonu [53].

Konak istasyonunun (Şekil 3) uygulama alanı olarak seçilmesinin nedeni yolcu sayısı ve istasyonun yapısıdır. İzmir Metro sisteminde Konak istasyonu en çok sayıda yolcunun ziyaret ettiği ikinci istasyondur. En kalabalık istasyon Bornova istasyonudur. Bunun nedeni Bornova istasyonunun hemen yanında Ege Üniversitesi kampüsünün yer almasıdır. Ancak

yapı itibarıyla incelediğimizde Konak istasyonu yerin altında 2 kat, Bornova istasyonu yarma tünel içinde, üstü açık ve zeminin bir miktar altında inşa edilmiştir. Tahliye açısından daha ayrıntılı olduğu için Konak istasyonu seçilmiştir. Aylık yolcu sayılarına göre metro durakları Şekil 4'te gösterilmiştir (Veriler güvenlik nedeniyle tablo olarak gösterilmemiştir).



Şekil 4: Duraklara göre aylık toplam yolcu sayıları.

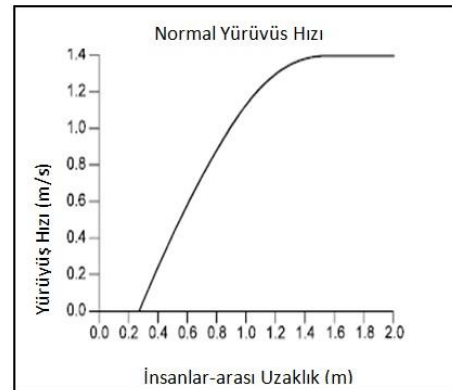
### 3.1 Simulex programı

IES Ltd. firması tarafından üretilen Virtual Environment 5.9 paket programının içinde yer alan Simulex programı, geniş ve geometrik olarak karmaşık binalardan çok sayıda insanın kaçış hareketinin simülasyonunu yapabileme yeteneğine sahip bir bilgisayar programıdır. Kullanıcının, merdivenlerle bağlanmış CAD-tasarımlı kat planları kullanarak bir binanın 3-boyutlu modelini oluşturmasını sağlar. Bireylerin hareket algoritmaları, gerçek hayattan gözlemlenen, insan hareketinin analizi için bilgisayar-temelli teknikler kullanarak toplanan gerçek-yaşam verilerini temel alır [55].

Simulex programında, bireylerin hareket yöntemleri ve kaçış geometrileri hakkında bazı varsayımlar mevcuttur:

1. Her insana normal, engelsiz yürüyüş hızı atanır,
2. Yürüyüş hızları birbirlerine yaklaştığında azalır,
3. Her insan seçilen uzaklık haritasında gösterilen sınır çizgileri için doğru açılardaki bir yönde çıkışa doğru yönelir,
4. İnsanların birbirini geçmesi, vücut dönüşü, yan ve küçük dereceli geri adım düzenlenmiştir.

Bir insanın yürüyüş hızı, ilerideki insana doğru olan ileri yönlü doğrusal uzaklığa bağlıdır. Bir insanın önündeki diğer bir insan incelenen insan için hızı yavaşlatır (Şekil 5).



Şekil 5: Yürüyüş hızı ve insanlar arası uzaklık ilişkisi [55].

Tahliyesi yapılacak binada bulunan insan tipleri bina tahliye süresini etkiler. Bir grup insan eklendiğinde, seçilen insan

tipleri vücut hacimlerinin dağılımını etkiler. Farklı insan grupları için farklı vücut tiplerinin dağılım yüzdesi Tablo 3'te verilmiştir:

### 3.2 Konak metro istasyonu tahliye süreci simülasyonu

Uygulama sürecinde, yolcu tahliye simülasyonu yapılan Konak İstasyonunun planı CAD ortamında hazırlanmış ve Simulex programına dahil edilmiştir. Merdivenler, merdiven bağlantıları ve çıkış kapıları eklendikten sonra, 0.2 m x 0.2 m boyutlu konumsal blokların ağıni içeren "Uzaklık Haritası" oluşturulmuştur. Her bloğa, bu bloktan bir çıkışa toplam seyahat uzaklığı eşit olan sayısal bir değer atanır. Uzaklık haritası, insanları en yakın uygun çıkışa yönlendirmek için program tarafından kullanılır [55]. Konak metro istasyonu için hazırlanan uzaklık haritası Şekil 6'da, çıkışa en uzak yolu çizen rota Şekil 7'de gösterilmiştir:

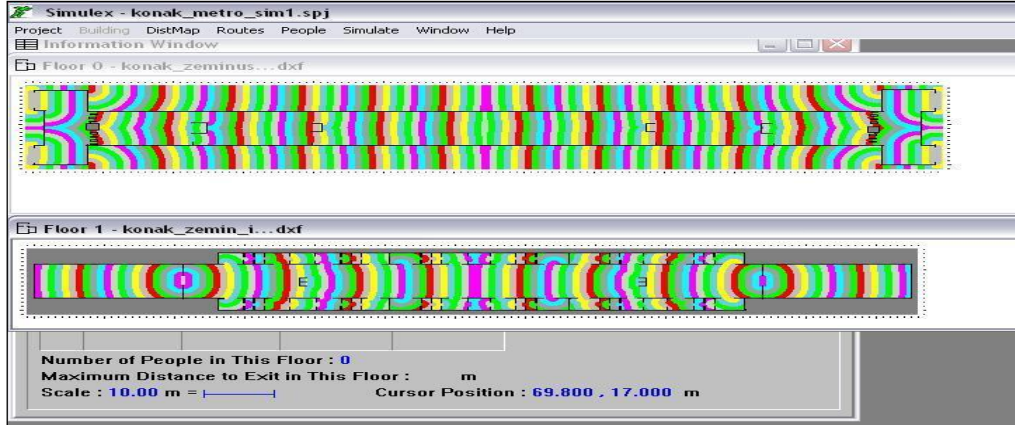
Konak metro istasyonu yerin altında 2 kat olacak şekilde yapılmıştır. Şekillerde gösterilen "Floor 1", metro trenlerinin bulunduğu en alt kattır, "Floor 0" ise zeminin 1 kat altında bulunan ve geçiş turnikelerinin olduğu kattır. Konak metrosu

"Ada" tipi istasyondur. Metro trenleri istasyonun her iki tarafından da geçmektedir. Şekil 9'da "Floor 1" ile tanımlanan plan metro istasyonunun her iki tarafına 3 vagonlu tren geldiği durumu göstermektedir. Aynı şekilde "Floor 0" isimli plan dosyasında metro zemin altı kat, turnikeler ve çıkış kapıları yer almaktadır. Metro kullanan insan tipleri olarak evden işe yolculuk eden kişiler ve öğrenciler seçilmiştir. Simülasyona eklenecek insanlar için parametre olarak, Tablo 3'te verilen vücut dağılımları içinden "Evden işe yolculuk eden kişiler" için verilen oranlar seçilmiştir. Bu oranlara göre, tahliye simülasyonunu oluşturmak amacıyla örnek bir model oluşturulmuş ve her iki kat için toplam 1609 kişi sisteme eklenmiştir. Simülasyon modelindeki kişi sayıları, günün yoğun saatlerindeki ve tenha saatlerindeki yolcu sayılarının ortalaması dikkate alınarak belirlenmiştir. Merdivenlerin tahliyesi Şekil 8'de görülmektedir. Model Şekil 9'da gösterilmiştir.

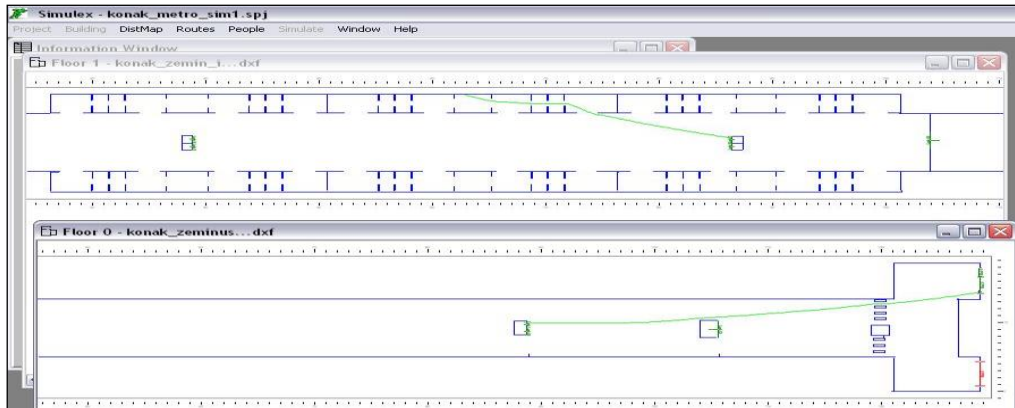
Tahliye simülasyonu çalıştırıldığında tahliye süreci Şekil 10, 11, 12 ve 13'te verilmiştir.

Tablo 3: Farklı insan gruplarına göre vücut dağılımı [45].

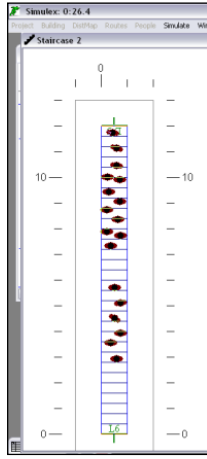
İnsan Tipi	% "Ortalama"	% "Erkekler"	% "Kadınlar"	% "Çocuklar"
Ofis Çalışanı	30	40	30	0
Evden işe yolculuk eden kişiler	30	30	30	10
Alışveriş yapanlar	30	20	30	20
Öğrenciler	10	10	10	70
Yaşlılar	50	20	30	0
Erkekler	0	100	0	0
Kadınlar	0	0	100	0
Çocuklar	0	0	0	100



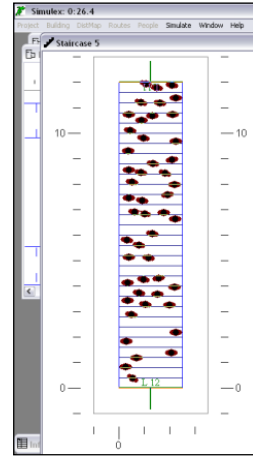
Şekil 6: Konak metro uzaklık haritası.



Şekil 7: Metro istasyonunda çıkışa en uzak olan noktadan çıkışa ulaşan rota.

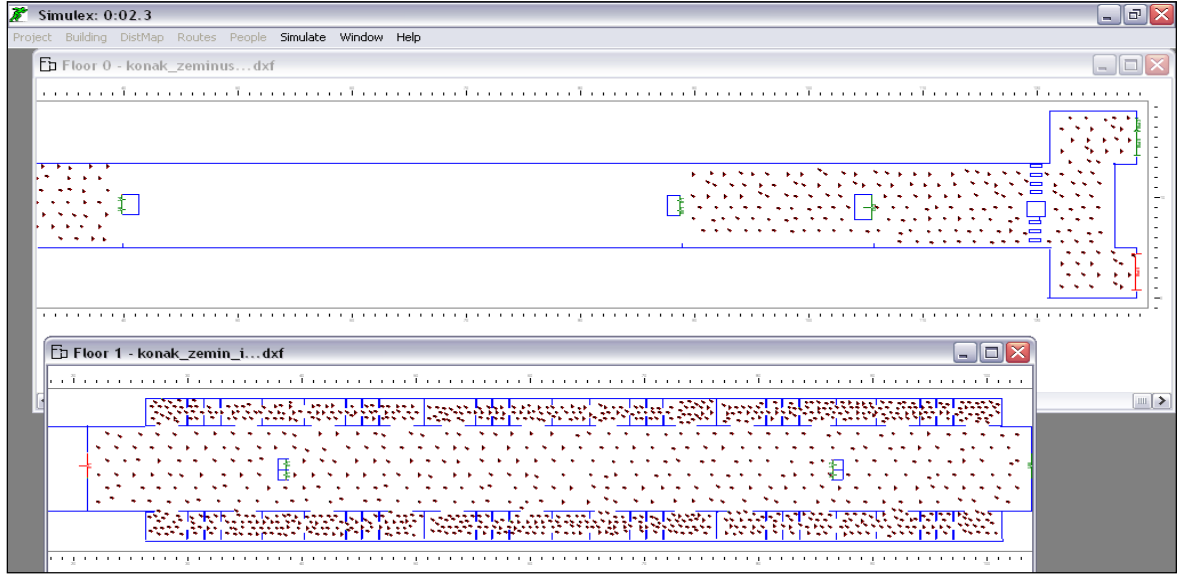


(a)

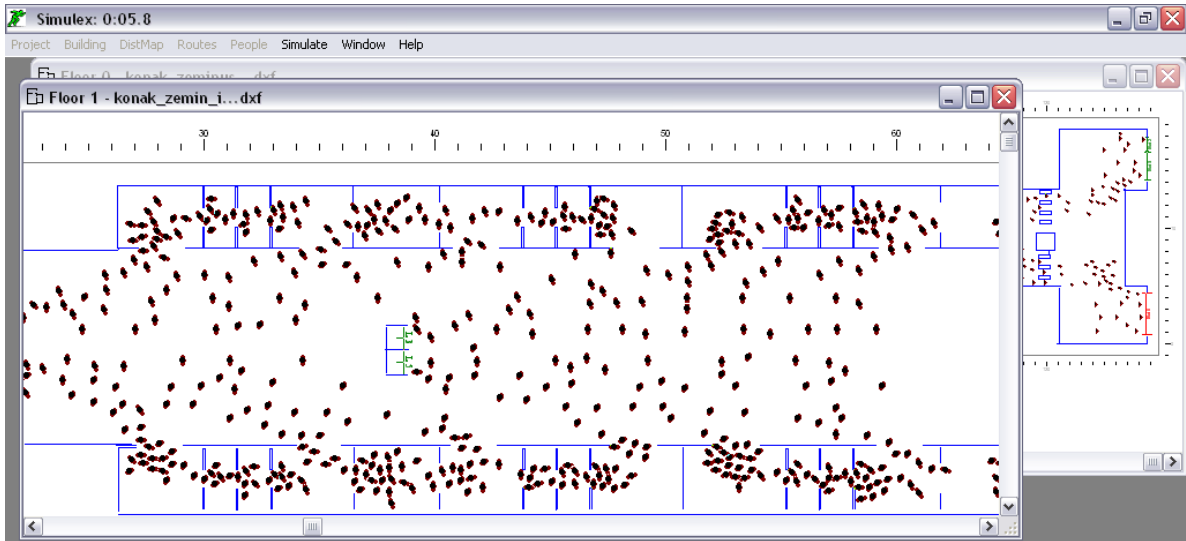


(b)

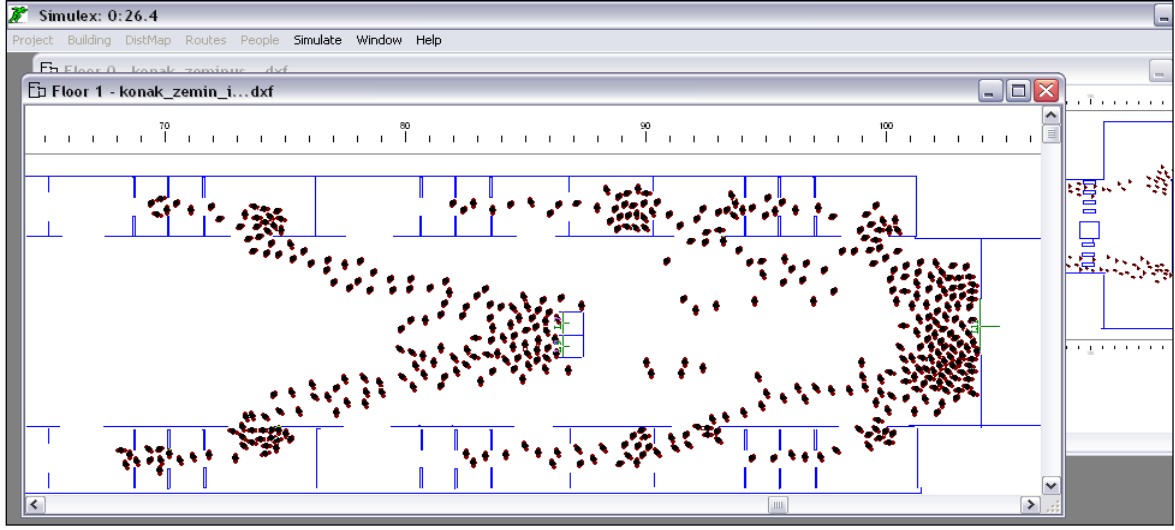
Şekil 8: (a): Dar merdivenlerin tahliyesi, (b): Geniş merdivenlerin tahliyesi.



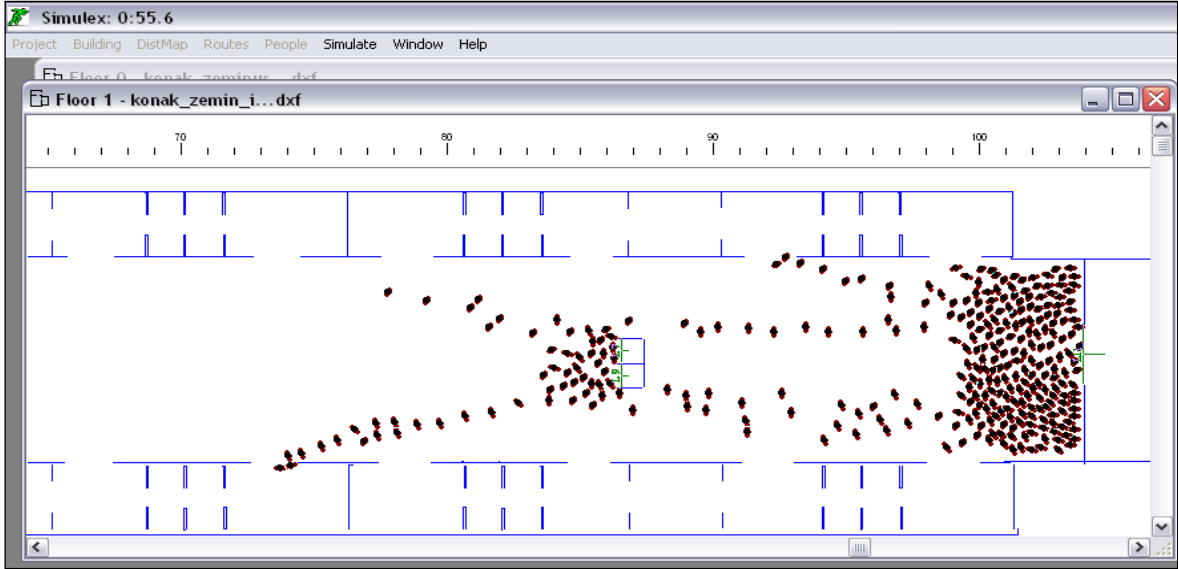
Şekil 9: İnsanlar eklendikten sonra metro istasyon katlarının ve vagonların görünümü.



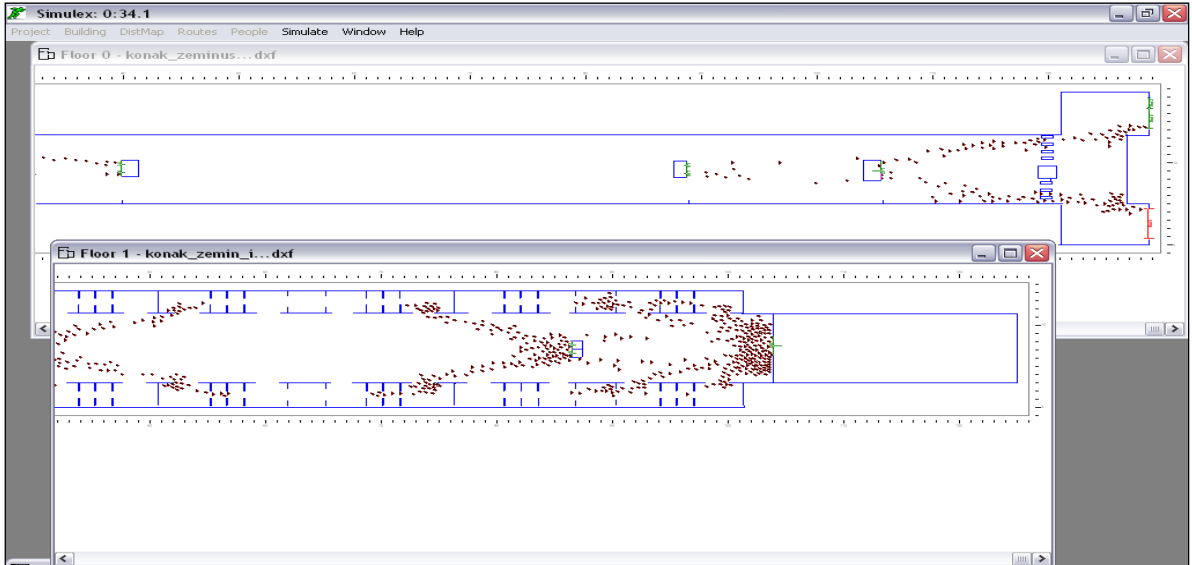
Şekil 10: Vagonların tahliye sürecine örnek görünüm.



Şekil 11: Vagonlardan çıkan yolcuların merdiven başlangıçlarında yığılması.



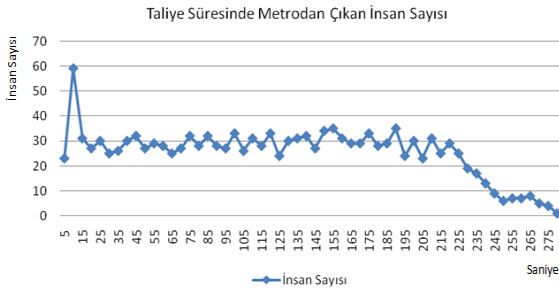
Şekil 12: Vagonlardaki yolcular azalırken, merdivenlerdeki yığılmaların arttığı görülmektedir.



Şekil 13: Her iki katın tahliyesi görülmektedir.

#### 4 Simülasyon sonuçları

Konak metro istasyonundan tahliye edilen 1609 yolcu için oluşturulan simülasyonun tamamlanma süresi Simulex programı tarafından 7 dk. 9 sn. olarak hesaplanmıştır. Tahliye süresi içinde metrodan çıkış yapan insanların sayısı Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekilde 275. saniye, yani 4 dk. 58 sn. sonrasında istasyondan insan çıkışı gerçekleşmemiştir. İnsanların bir kısmı merdivenlerdeki yığılma sonucu istasyondan çıkamamıştır. Simulex programı 7 dk. 9 sn. boyunca simülasyona devam etmiş, ancak bu süre sonunda yığılmanın çıkışa izin vermeyecek şekilde artması sonucu simülasyon süreci program tarafından sonlandırılmıştır. Program binadan tahliye edilemeyen kişi sayısı bilgisini vermemektedir. Güvenlik nedeniyle tahliye edilen kişi sayıları yalnızca grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 14: Zamana göre metrodan tahliye edilen insan sayısı.

Grafikte, 10. saniyede en yüksek değer olarak 59 yolcunun tahliye edildiği görülmektedir. Çıkış kapılarına yakın olan insanlar ilk 10 saniyede, alt kattaki yolcular gelmeden ve yığılma yaşanmadan, metro istasyonundan çıkmışlardır. Simülasyon süresince merdivenler incelendiğinde yolcuların geniş merdivenlere gitme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle yürüyen merdivenler, dar olmalarından dolayı, tahliye sırasında yolcuların sıkışmasına neden olmakta ve tercih edilmemektedirler. Yolcular çıkış kapıları olarak yine dar kapılar yerine geniş kapıları tercih etmektedir. Bir acil durumda yaşanan panik, özellikle turnikelerden geçişlerde ve merdivenlerde yığılmaya ve izdihama neden olmaktadır.

Metro istasyonları genellikle yer altında inşa edilmesi, tahliye sürecini zorlaştırmaktadır. Bir yangın durumunda, istasyonun yer altında olmasından dolayı yeterli havalandırmanın sağlanamaması, can kaybına neden olabilir. Bu ve benzeri durumların, çeşitli senaryolar oluşturularak, özel olarak tasarlanan simülasyon programları ile denemesi, hayatta kalan insan sayısını etkileyecektir.

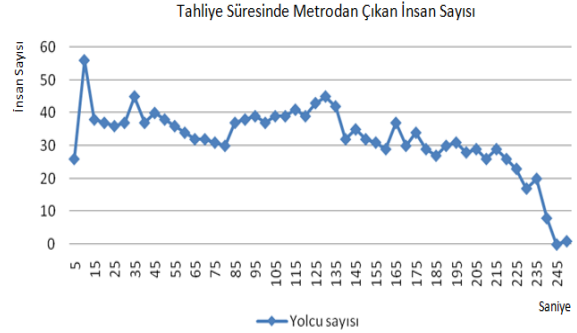
İzmir Metrosu tarafından hazırlanan ve internet sayfalarında sunulan metro stratejik planında, her bir vagonun yaklaşık 300 yolcu (44 oturan, 280 ayakta yolcu) kapasiteli olduğu bilgisi verilmiştir. Her vagona 300 yolcu olması, istasyonun her iki tarafına iki tren yanaştığı durumda (her tren 3 vagon oluşmaktadır), sadece vagonlarda yaklaşık toplam 1800 kişinin olabileceği anlamına gelmektedir. İstasyonda bekleyen insanlar da hesaplanırsa, insanların sağlıklı olarak tahliye edilemeyeceği araştırılmalıdır. Bu amaçla 3 senaryo oluşturulmuştur. Senaryolarda, Bölüm 3.2'de verilen parametreler kullanılmıştır.

1. senaryo: Metro vagonlarının tam kapasitede yolcu içermesi durumu: Her bir vagona ortalama 300 kişi ve istasyonda mümkün olan en fazla sayıda insan olması,

2. senaryo: Aylık ortalama yolcu sayısını içeren durum: Her bir vagona ortalama 70 kişi olması,

3. senaryo: 1. ve 2. Senaryonun ortalaması alınarak yolcu sayısının belirlenmesi: Her bir vagona ortalama 185 kişi olması.

1. senaryo için oluşturulan modelde sisteme 3487 yolcu eklenmiştir. Bu yolculardan 1800'ü vagonlarda, 1687'si istasyonda bulunmaktadır. Simülasyon çalıştırıldığında tüm yolcuların tahliye edilmesi için simülasyon 14 dk. 11 sn. süresince devam etmiş ancak 4 dk. 8 sn. sonrasında merdivenlerde ve çıkışlardaki yığılma nedeniyle sistemden yolcu tahliye edilememiştir. İstasyondaki kişi sayısı arttığında insanların metrodan çıkabileceği süre azalmaktadır. Bunun nedeni, daha fazla sayıda insanın merdivenlerde ve çıkışlarda birikerek çıkışı engellemesidir. Simülasyon süreci izlendiğinde tahliye edilen insanların çoğunun zemin katta ve alt katta istasyonda bekleyen insanlar olduğu görülmüştür. Zamana göre tahliye edilen insanların sayısı ve simülasyon süreci Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmektedir.



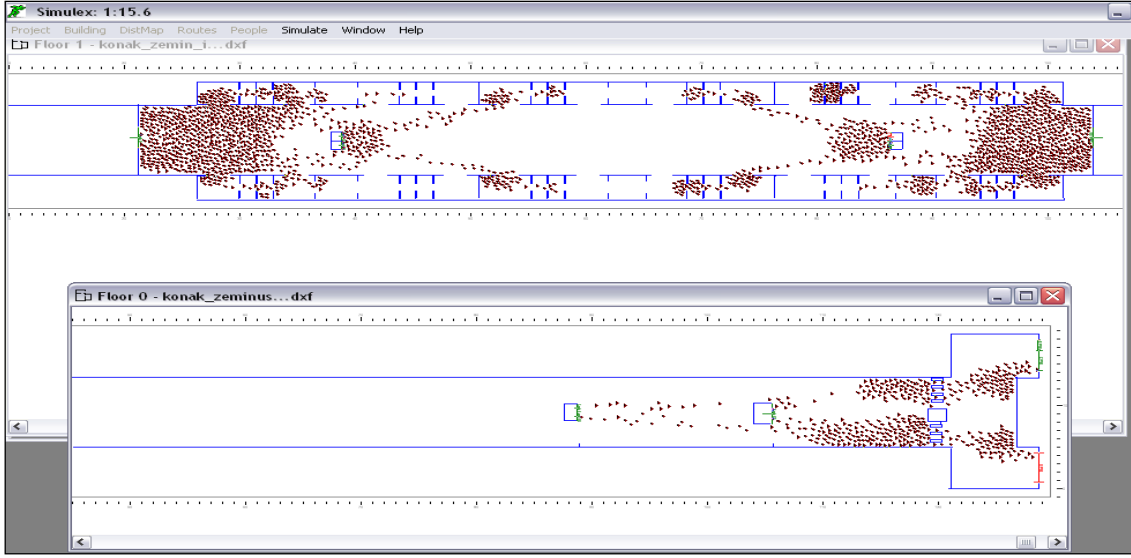
Şekil 15: 1. senaryo için zamana göre tahliye edilen yolcu sayıları.

2. senaryo için aylık ortalama yolcu sayıları, her vagona 70 kişi ve istasyondaki yolcular, toplam 1096 yolcu sisteme eklenmiş ve simülasyon çalıştırılmıştır. Simülasyon sonucunda sistemden toplam tahliye süresi 3 dakika 32 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda yolcuların tamamı istasyondan tahliye edilebilmiştir. Zamana göre tahliye edilen yolcuların grafiği ve simülasyon süreci Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmektedir.

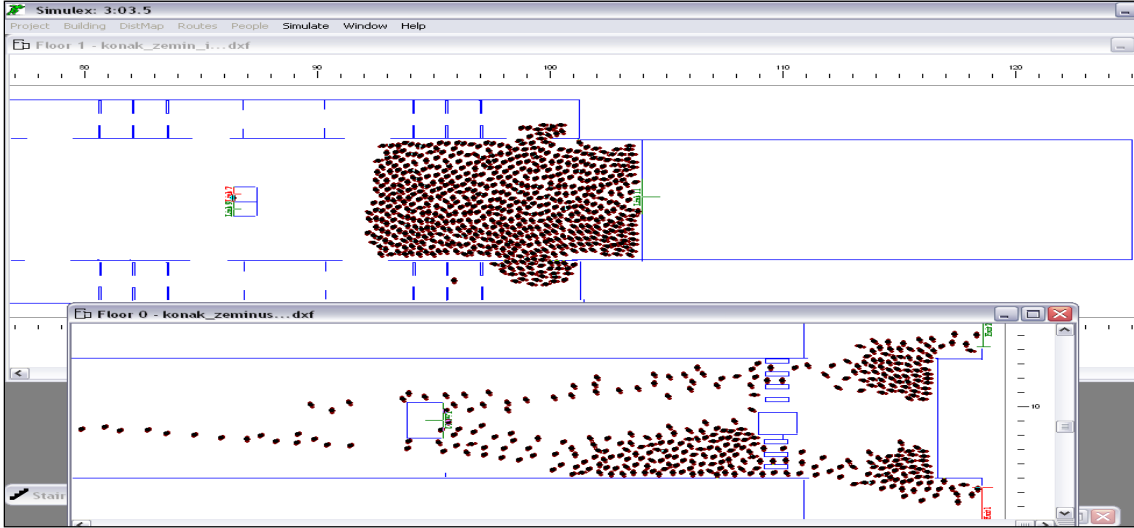
3. senaryo için her bir vagona 185 yolcu olacak şekilde istasyondaki yolcularla toplam 2018 yolcu sisteme eklenmiştir. Simülasyon toplam tahliye süresi 11 dakika 44 saniye olarak hesaplanmıştır. 335 saniye, yani 5 dk. 58 sn. sonrasında sistemden kimse tahliye edilememiştir. Simülasyon yaklaşık 6 dk. daha devam etmiş, merdivenlerdeki yığılma nedeniyle çıkış imkansızlaştığı için bu süre sonunda program tarafından sonlandırılmıştır. Zamana göre tahliye edilen yolcu sayısı ve simülasyon süreci Şekil 19 ve Şekil 20'de verilmiştir.

Çeşitli yolcu sayılarına göre oluşturulmuş üç senaryo incelendiğinde, en yüksek sayıda yolcu tahliyesinin ilk 10 saniyede gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni henüz istasyonun en alt katındaki yolcular çıkmadan, turnikelerin olduğu kattaki yolcuların metrodan çıkması ile açıklanabilir. Her üç modelde de merdivenlerde yığılmalar gözlenmiştir. Yolcular geniş merdivenleri ve çıkış kapılarını diğerlerine göre tercih etmektedirler.





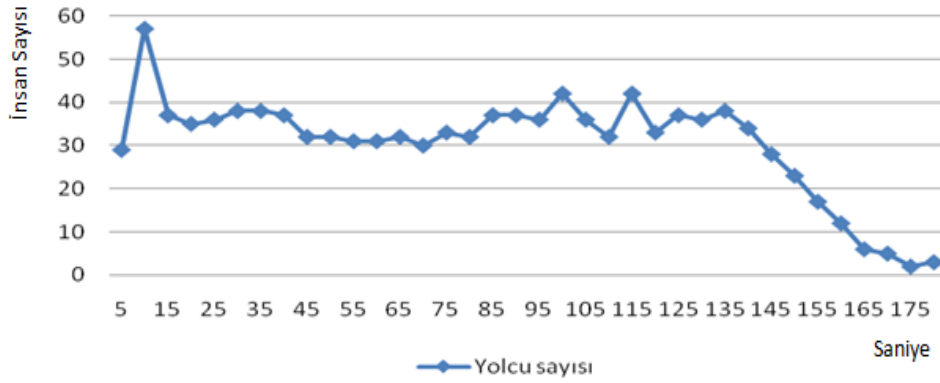
(a)



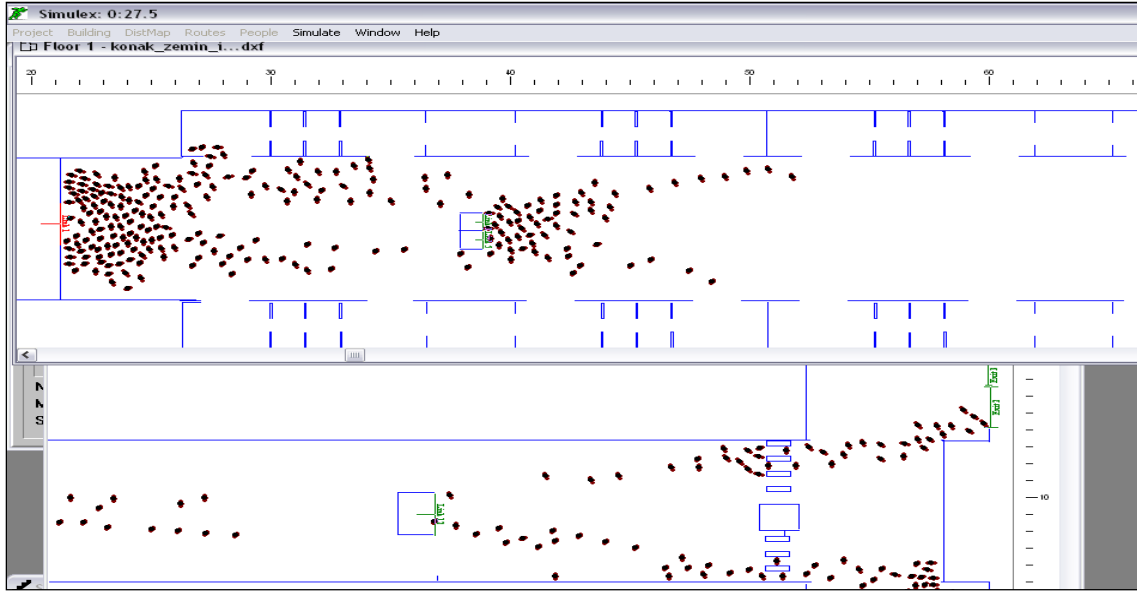
(b)

Şekil 16: a): 1. senaryo için tüm modelin simülasyon görüntüsü, b): Büyütülmüş görüntü.

### Tahliye Süresinde Metrodan Çıkan İnsan Sayısı

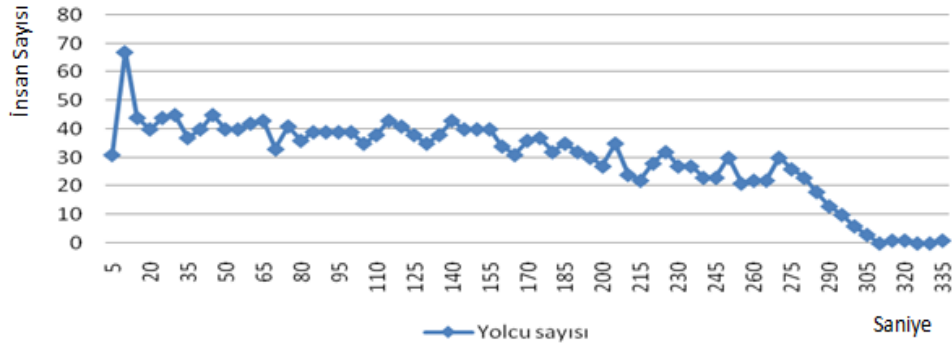


Şekil 17: 2. senaryo için zamana göre tahliye edilen yolcu sayıları.

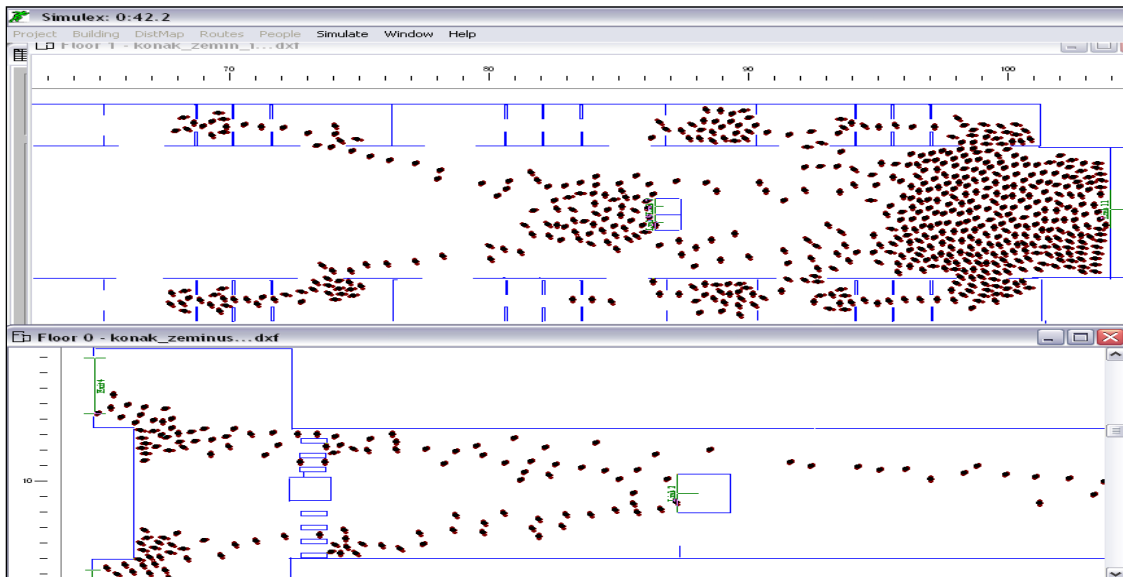


Şekil 18: 2. senaryo için simülasyon süreci.

Tahliye Süresinde Metrodan Çıkan İnsan Sayısı



Şekil 19: 3. senaryo için zamana göre tahliye edilen yolcu sayıları.



Şekil 20: 3. senaryo için simülasyon süreci.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde dar merdivenler ve çıkış kapılarının az sayıda yolcunun geçtiği görülmüştür. 1. senaryoda merdiven ve çıkış kapılarındaki yığılma en fazladır ve tahliye 14 dakika sürmektedir. Metrodaki insanların tamamı bu sürede tahliye edilememiştir. Bu süre zarfında en alt kattaki yolcular için yeterli havalandırmanın sağlanabilmesi hayati önem taşımaktadır. Ortalama yolcu sayılarını dikkate alan 2. senaryo incelendiğinde, yolcuların tamamı istasyondan yaklaşık 3,5 dakikada tahliye edilebilmiştir. Bu durumda sağlıklı bir tahliye mümkün olmaktadır. 3. senaryoda ise tahliye süreci yaklaşık 12 dakika sürmüştür, ancak yolcuların tamamı bu süre içinde tahliye edilememiştir. Bu tahliye süresi de yolcuların hayatlarını tehlikeye atabilir. 1. ve 3. senaryolardaki tahliye süresinin kısaltılması yönünde metro istasyonlarında düzenlemelerin yapılması ve düzenlenmiş durumlar için simülasyonlarla sistemin denenmesi, bir acil durumda insanların sağlıklı şekilde tahliye edilmesini sağlayacaktır. Simülasyon sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Simülasyon sonuçları.

		1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo
Yolcu Sayısı	Toplam	3487	1096	2018
	6 Vagona	1800	420	1110
	İstasyonda	1687	676	908
	Tahliye edilen	1993	1096	1916
Süre	Tahliye edilemeyen	1494	-	102
	Tahliye	4 dk. 8 sn.	3 dk.32sn.	4 dk. 58 sn.
	Simülasyon	14 dk. 11sn.	3 dk. 32 sn.	11 dk. 44 sn.
Tahliye tamamlanmış		Hayır	Evet	Hayır

Tablo 4'teki sonuçlar incelendiğinde, 2. senaryonun tüm yolcuların tahliyesine imkân veren koşulları içerdiği görülmektedir. Vagonlardaki yolcu sayısının azaltılması, tahliye edilen insan sayısını arttırmakta ve tahliye süresini kısaltmaktadır. Metro tahliyesi için geliştirilecek politikada, özellikle vagonlardaki insan sayısının optimizasyonuna yönelik çalışmalara odaklanılması önemlidir. Sefer sayısının artırılması, istasyondaki ve vagonlardaki yolcu sayısını azaltacağı için 2. senaryoya yakın bir tahliye süreci gerçekleştirilebilir. Yolcu sayısının azaltılmadığı durumda ise, metrodan çıkış için istasyondaki merdivenlerin genişletilmesi, tahliye edilen insan sayısını arttıracaktır. Sistemden çıkış kanallarının artırılması aynı zamanda metro istasyonunun alt katına daha fazla temiz hava girişi sağlayacaktır. Özellikle, aşırı kalabalık durumunda merdivenler yetersiz kaldığı için, metro yönetimine merdivenlerin genişletilmesi önerilmektedir.

İstasyonda dört farklı yerde merdiven bulunmaktadır. Şekil 16. a'da görüldüğü üzere bu merdivenlerin ikisi istasyonun uç noktalarında, diğer ikisi de bu iki merdivenin arasında, orta bölümde, simetrik olarak yerleştirilmiştir. Ortadaki merdivenler iniş ve çıkış için yan yana ikişer tane yürüyen merdivenden oluşmaktadır. Toplamda dört dar merdiven vardır. Bunların genişletilmesi, yolcuların istasyonda hareketlerini engellemektedir. Uç bölümlerdeki ise daha geniş, tek merdivenden oluşmaktadır. Yolcular, geniş oldukları için bu merdivenlere yönelme eğilimindedir. Şekil 11, 12, 13, 16a, 18 ve 20'de bu iki merdivenin tercih edilmesi sonucu oluşan yoğunluk görülmektedir. Bu

merdivenlerin genişliğinin yetersiz olması Senaryo 1 ve Senaryo 3'te tahliyenin tamamlanmasını engellemiştir.

Metro yönetimine merdivenlerin genişletilmesi konusunda yapılacak öneri öncelikle her üç senaryo için test edilmiştir. Bu amaçla iki uçta 3 m olan merdiven genişliği 6 m'ye çıkarılmıştır. Metronun yeni düzenlemesi, uzaklık haritası ve en uzun yol rotası sırasıyla Şekil 21, 22 ve 23'te gösterilmektedir. Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo 3 için önerilen durumun simülasyonu sırasıyla Şekil 24, 25 ve 26'da verilmektedir. Simulex, eklenen kişi özelliklerinin ve simülasyon sürecinin daha doğru izlenebilmesi için tahliye simülasyonunu 3-boyutlu olarak da sunmaktadır (Şekil 27).

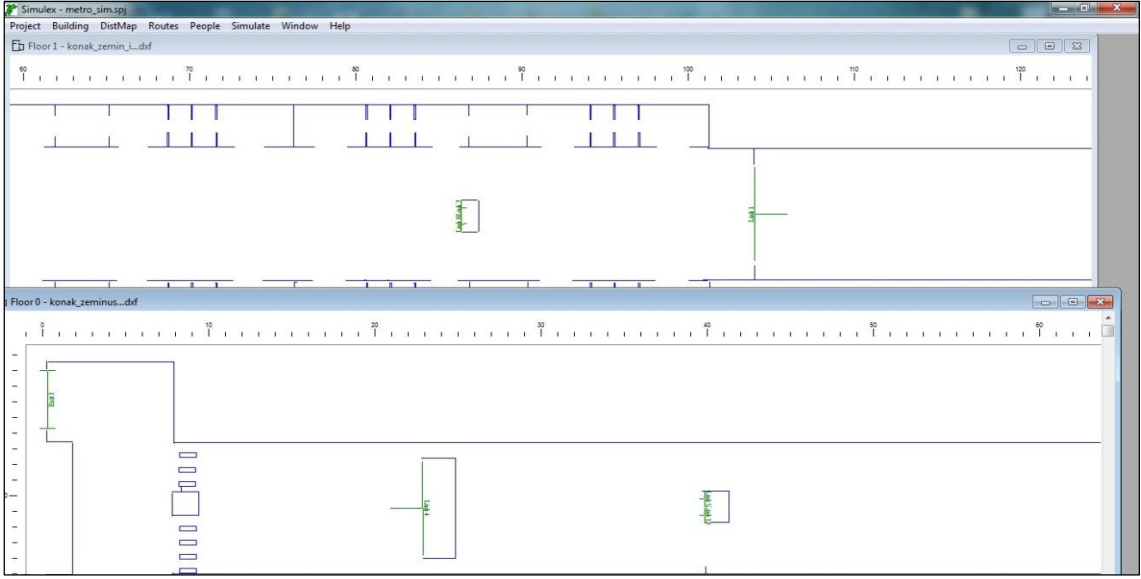
Her üç senaryonun önerilen yeni düzenleme için simülasyon süreci incelendiğinde, genişletilen merdivenlerin tahliye süresini kısalttığı görülmüştür. Önerilen yeni durum için her üç senaryonun simülasyon süreçlerine ilişkin grafikler Şekil 28, 29 ve 30'da gösterilmektedir.

Eski durumda istasyonun giriş katındaki yolcuların tahliyesi nedeniyle ilk 10 saniyede en yüksek çıkış gerçekleşiyordu. Önerilen durumda, alt kattaki yolcular da merdivenlerde yoğunluk olmadan tahliye sürecinin başından itibaren sistemi terk etmektedirler. Merdivenlerin genişletilmesi ile istasyondaki ve giriş katındaki tahliyenin birlikte gerçekleştiği görülmektedir. Merdivenlerdeki yoğunluk Senaryo 1 dışında, istasyonun tahliyesini engelleyecek düzeyde olmamıştır. Senaryo 1 aşırı yüklü bir sistemin simülasyonu olduğu için, tahliye tamamlanamamıştır. İnsan yoğunluğu nedeniyle yolcuların bir kısmı trenden çıkmamıştır. Senaryo 1'in tahliye sürecini gösteren Şekil 28'de ilk 160 saniyede en yüksek sayıda tahliye gerçekleşmiştir. Bu sürede tahliye edilenlerin çoğunluğu istasyonda ve üst katta bulunan yolculardır.

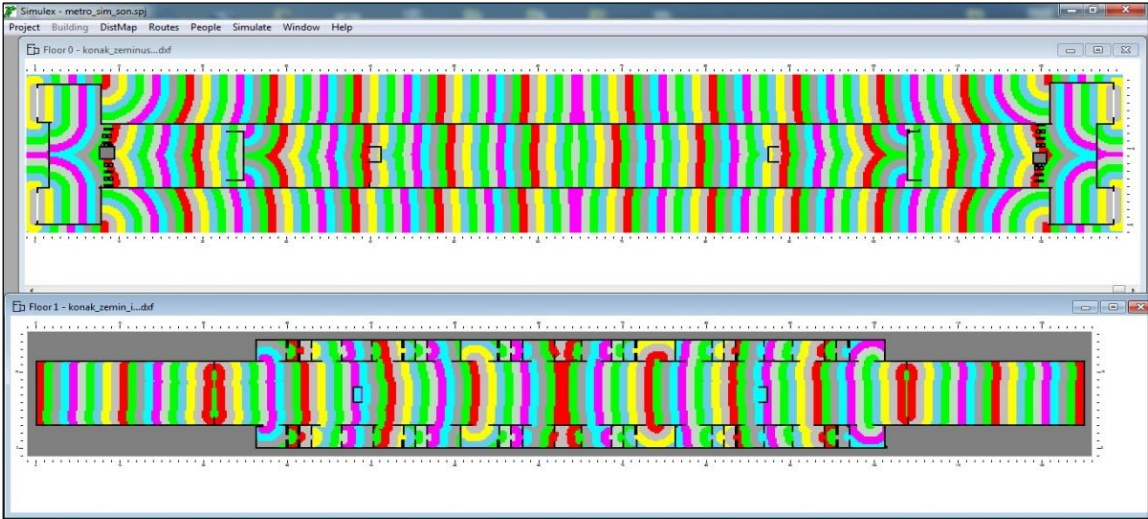
Senaryo 2'de tahliye edilen yolcuların sayısını gösteren Şekil 29'da istasyonların tahliyesi ilk 35 saniyede gerçekleşmiştir. Ardından vagonlardaki insanların merdivenlere gelmesi ve sistemi terk etmesi nedeniyle oluşan yoğunluk insan sayısının 120. saniyeye kadar artmasına neden olmuştur. Sistemdeki tüm yolcuların tahliye edilmesi nedeniyle 165. saniyede simülasyon tamamlanmıştır.

Senaryo 3'e göre tahliye edilen yolcu sayısını gösteren Şekil 30'da verilen grafik, Şekil 28'deki Senaryo 1 ile benzer durumu göstermektedir. Vagonlardaki yoğunluk, tahliyeyi yavaşlatmış. Bu nedenle öncelikle istasyonlardaki yolcular sistemden çıkabilmiştir. Tüm simülasyon sonuçları, eski durum ve önerilen düzenlemenin karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

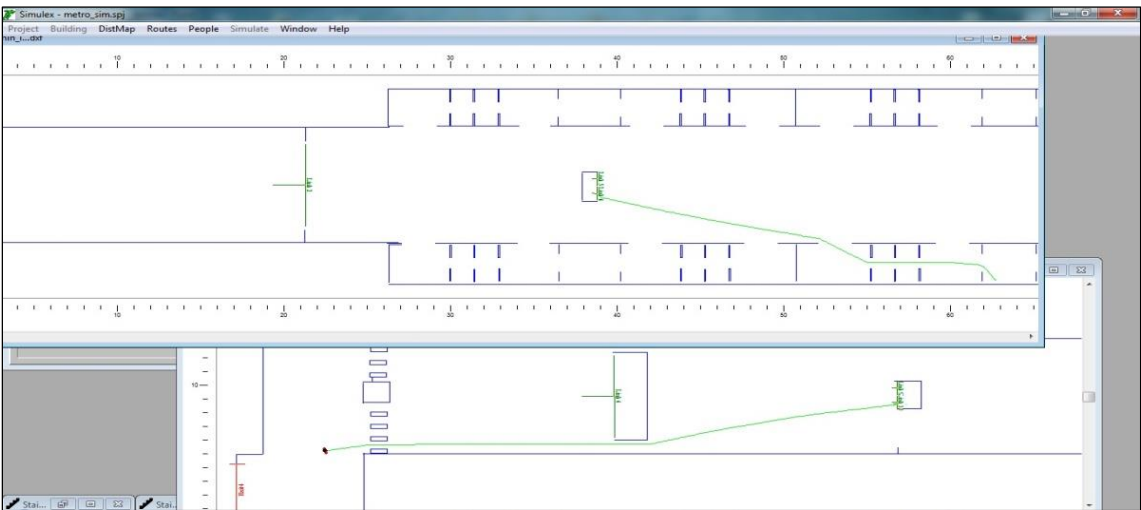
Tablo 5'te görüldüğü üzere, metro istasyonunun iki ucundaki merdivenlerin genişletilmesi tüm senaryolar için tahliye süresini azaltmıştır. Senaryo 1'de vagonlarda sıkışan yolcular nedeniyle simülasyon tamamlanamamış, fakat tahliye edilen kişi sayısı artmıştır. Senaryo 2'de tüm yolcular tahliye edilmiş ve tahliye süresi kısalmıştır. Senaryo 3'te önerilen değişiklik öncesi merdivenlerdeki yoğunluk nedeniyle tahliye süreci tamamlanamazken, merdivenlerin genişletilmesi tüm yolcuların tahliye edilmesini sağlamıştır. Eski duruma göre tahliye edilemeyen 102 kişi, önerilen değişiklik ile sistemden kısa sürede çıkabilmiştir. Merdivenlerin genişletilmesinin, tahliye süreci boyunca merdivenlerdeki insan akışının sürekliliğini sağladığı görülmüştür.



Şekil 21: İstasyondan zemine çıkan, iki uç merdivendeki genişletmenin gösterimi.

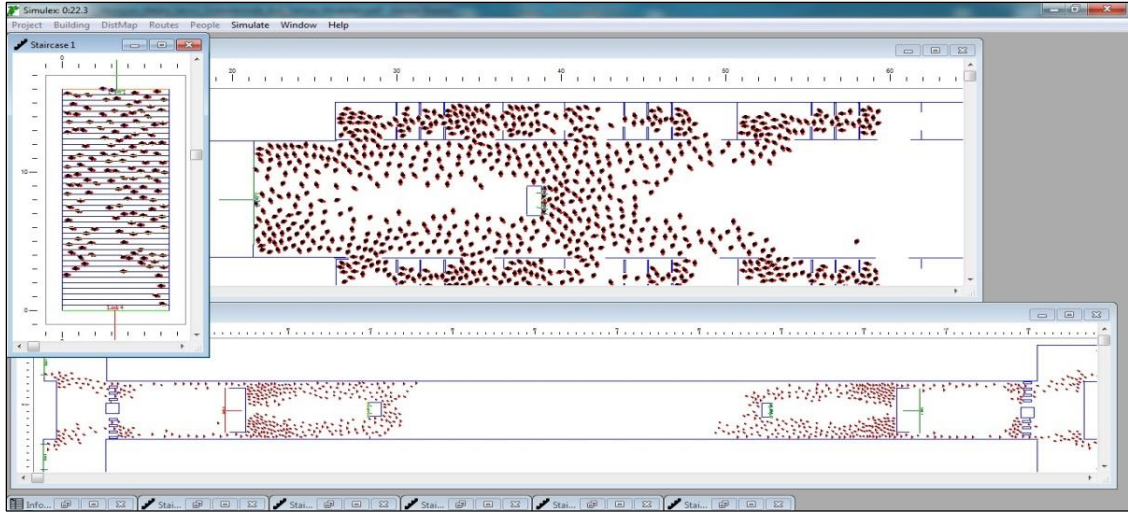


Şekil 22: Genişletilen merdivenler için uzaklık haritası.

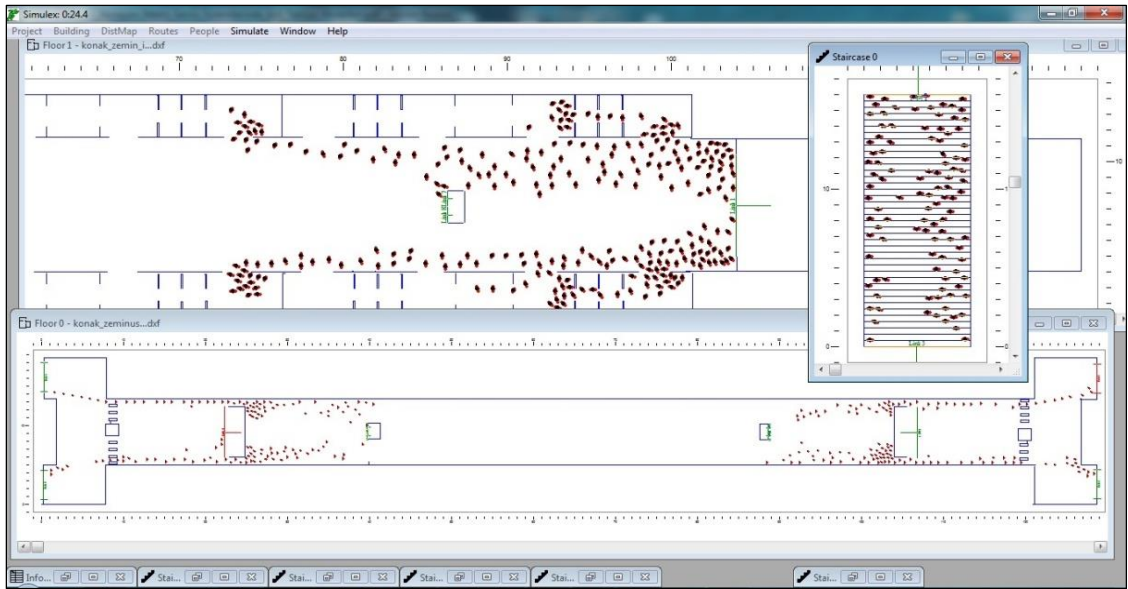


Şekil 23: Genişletilen merdivenler için en uzun yol rotası.

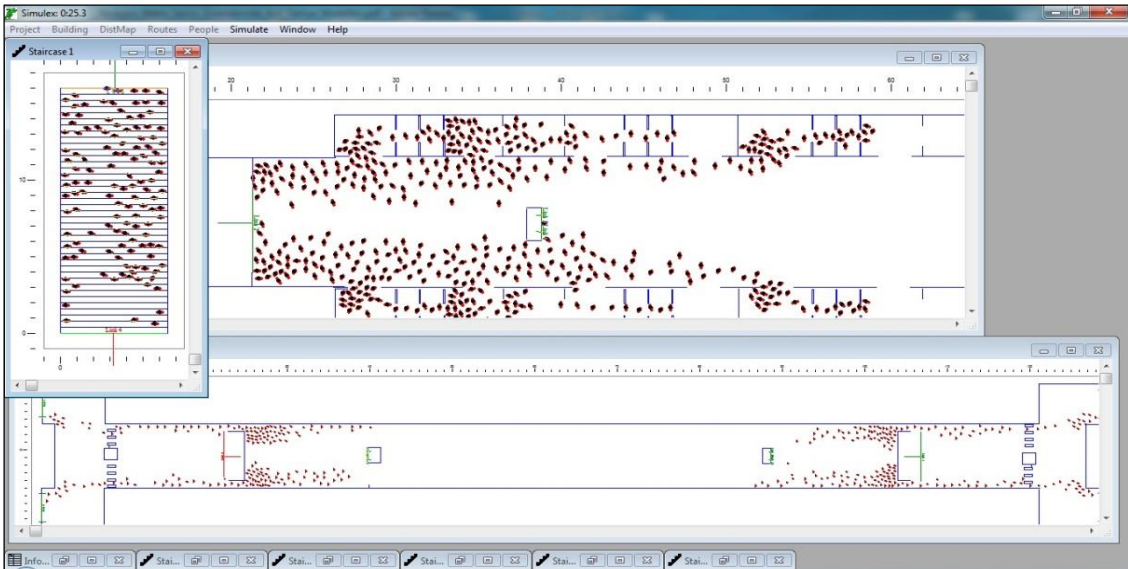




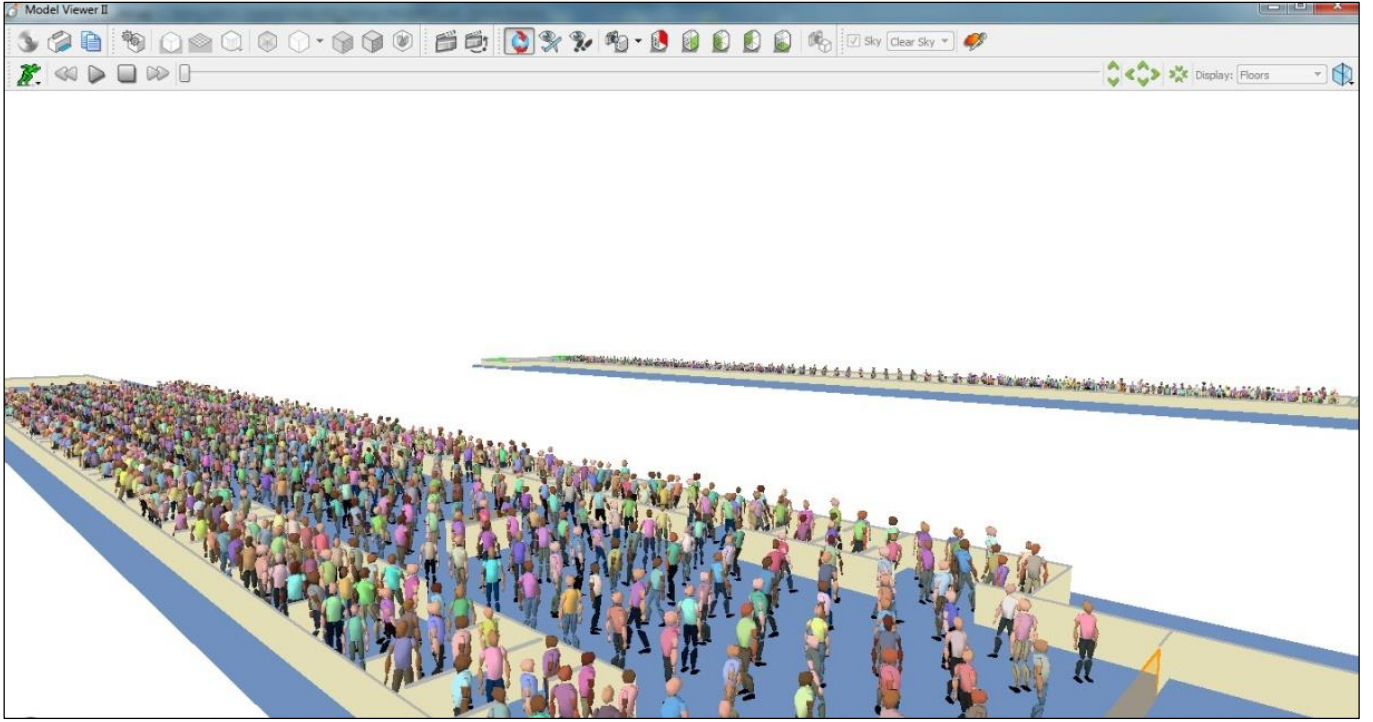
Şekil 24: Senaryo 1 için simülasyon süreci ve genişletilen merdiven tahliyesinin örnek gösterimi



Şekil 25: Senaryo 2 için simülasyon süreci ve genişletilen merdiven tahliyesinin örnek gösterimi.



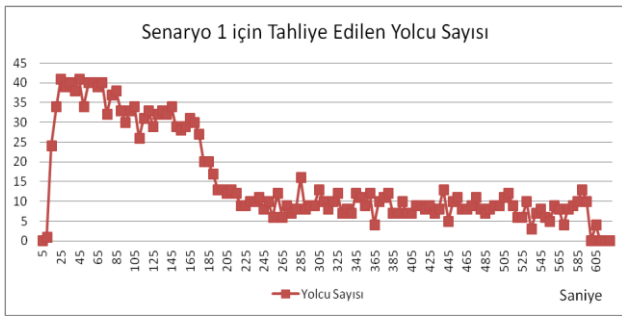
Şekil 26: Senaryo 3 için simülasyon süreci ve genişletilen merdiven tahliyesinin örnek gösterimi.



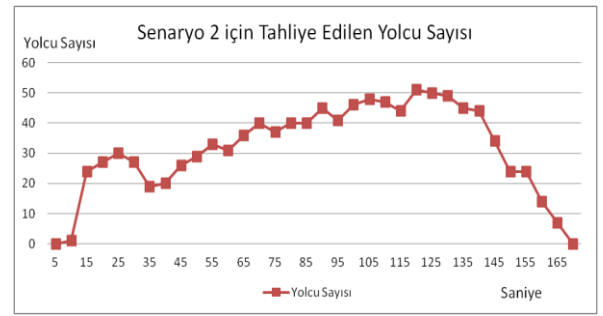
Şekil 27: Simülasyon sürecinin 3-boyutlu görüntüsü.

Tablo 5: Önerilen duruma göre üç senaryonun simülasyon sonuçları ve eski durumla karşılaştırılması.

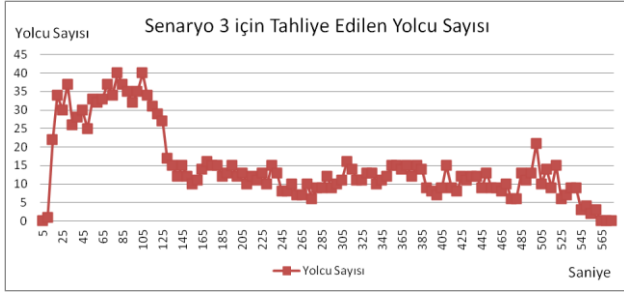
		1. senaryo		2. senaryo		3. senaryo	
Yolcu Sayısı	Toplam	3487		1096		2018	
	6 Vagonda	1800		420		1110	
	İstasyonda	1687		676		908	
	Karşılaştırma	Yeni	Eski	Yeni	Eski	Yeni	Eski
Süre	Tahliye edilen	2107	1993	1096	1096	2018	1916
	Tahliye edilemeyen	1380	1494	-	-	-	102
	Tahliye	4 dk. 35 sn.	4 dk. 8 sn.	3 dk. 15 sn.	3 dk. 32 sn.	9 dk. 16 sn.	4 dk. 58 sn.
	Simülasyon	10 dk. 8 sn.	14 dk. 11 sn.	3 dk. 15 sn.	3 dk. 32 sn.	9 dk. 16 sn.	11 dk. 44 sn.
Tahliye tamamlanmış		Hayır		Evet		Evet	
		Hayır		Evet		Hayır	



Şekil 28: Merdivenlerin genişletilmesi durumunda Senaryo 1'e göre yapılan simülasyonda tahliye edilen yolcu sayısı.



Şekil 29: Merdivenlerin genişletilmesi durumunda Senaryo 2'ye göre yapılan simülasyonda tahliye edilen yolcu sayısı.



Şekil 30: Merdivenlerin genişletilmesi durumunda Senaryo 3'e göre yapılan simülasyonda tahliye edilen yolcu sayısı.

## 5 Sonuçlar ve Öneriler

Binalarda kapılar, merdivenler ve koridorlar, özellikle bir acil durum anında dar boğazları oluşturan bölümlerdir. İnsanlar yaşadıkları panik ve korku nedeniyle, bu alanlardan kaçmak isterken yığılmalara ve akışın durmasına neden olmaktadır. Binaların tahliye planı hazırlanırken, can kaybını arttıran bu bölümlerin özellikle incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada İzmir Metro sistemi içinde en yoğun istasyonlardan biri olan Konak istasyonunda acil durum tahliye simülasyonu yapılmıştır. Bu amaçla hazırlanan üç ayrı senaryonun simülasyonu, yolcuların merdivenlerde biriktiğini ve iki senaryoda tahliyenin tamamlanamadığını göstermiştir. Yalnızca bir senaryoda, tüm yolcular tahliye edilebilmiştir.

Bu sorunun çözümü olarak, istasyonun iki ucunda bulunan merdivenlerin genişliğinin artırılması önerilmiştir. Bu değişikliğin tahliye sürecine etkisini belirlemek için, bu üç senaryonun yeni duruma göre yeniden simülasyonu yapılmıştır. Sonuçlar, merdivenlerin genişletilmesinin iki senaryoda simülasyonun tamamlanmasını sağladığını göstermiştir. Yolcu sayısının çok yüksek olduğu diğer bir senaryoda ise, tahliye edilen yolcu sayısı artmış, fakat yolcuların vagonlarda sıkışması, tahliyenin tamamlanmasına engel olmuştur. Önerilen durum, her üç senaryoda tahliye sürecinin sonuna kadar merdivenlerde sürekli yolcu akışını sağlamıştır. Tüm sonuçlar incelendiğinde, istasyondaki merdivenlerin genişletilmesinin tahliye sürecinin tamamlanması için önemli olduğu görülmektedir.

Metro sistemleri, günün her saati her türlü yolcunun sıklıkla kullandığı sistemlerdir. Sağlıklı bir şekilde tahliyenin sağlanması, yolcu sayısına olduğu kadar yolcuların yaş ve sağlık durumlarına da bağlıdır. Uygulamada esas alınan yolcu profili, her gün işe gidip gelmek için metroyu kullanan kişiler ve öğrencilerdir. Bundan sonraki çalışmalarda, farklı insan profillerine göre tahliye simülasyonları yapılabilir. Yaşlılar, çocuklar, yürüme zorluğu olanlar, tekerlekli sandalye ve koltuk değneği kullananlar için tahliye süresi değişmektedir. Tahliye edilen insanların bu tür özellikleri dikkate alınarak simülasyon çalışması genişletilebilir. Bu çalışma diğer istasyonlarda da çalıştırılarak, tüm metro sisteminin tahliyesi incelenebilir. Bu sayede, metro sisteminin kısıtları ve problemleri giderilerek ve yeni durumlar için simülasyonlarla sistemin güncelliği sağlanarak, İzmir Metro sistemi daha güvenli hale getirilebilir.

## 6 Kaynaklar

[1] Zheng X, Zhong T, Liu M. "Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches". *Building and Environment*, 44(3), 437-445, 2009.

- [2] Koç G, Ceylan ÖC. "Metro istasyon ve tünellerinin acil durum havalandırmasında yeni yaklaşımlar ve uygulama esasları". *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 17-20 Nisan 2013.
- [3] Açıkgöz A, Gelişli MÖ, Öztürk E. "Metro tünellerinde yangın senaryosu analizleri". *Anova Mühendislik*, Ankara, Türkiye, 2016.
- [4] Eralp OC, Musluoğlu E. "Yeraltı toplu taşıma sistemlerinde acil durum havalandırması". *6. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, Türkiye, 8-11 Ekim 2003.
- [5] Kayılı S, Eralp OC. "Yeraltı taşıma sistemleri istasyonlarında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle yangın ve havalandırma simülasyonu". *8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 25-28 Ekim 2007.
- [6] Kayılı S, Eralp OC. "Fire dynamics simulator programıyla yer altı toplu taşıma sistemleri istasyonlarında yangın ve havalandırma simülasyonu". *Mühendislik ve Makine*, 52(612), 42-50, 2011.
- [7] Özbakır E. "Yeraltı raylı sistem istasyonlarında ısıtma, havalandırma, klima tesisatı". *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 97, 23-29, 2007.
- [8] Özbek, E. *Metrolarda Yön Bulma Davranışının Çevresel Stres Bağlamında İrdelenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [9] Güllüoğlu, SS. "Raylı sistemlerde afet anında acil müdahaleye yönelik bir proje". *Academic Journal of Information Technology*, 2(3), 1-7, 2011.
- [10] Demirci A, Karakuyu M. "Afet yönetiminde coğrafi bilgi teknolojilerinin rolü". *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(12), 67-100, 2004.
- [11] Zhang Q, Han B, Li D. "Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(5), 635-649, 2008.
- [12] Daly PN, McGrath F, Annesley TJ. "Pedestrian speed/flow relationships for underground stations". *Traffic Engineering and Control*, 32(2), 75-78, 1991.
- [13] Daamen W, Bovy PHL, Hoogendoorn SP, Van de Reijt A. "Passenger route choice concerning level changes in railway stations". *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1930(1), 12-20, 2005.
- [14] Cheung CY, Lam WHK. "A study of the bi-directional pedestrian flow characteristics in the Hong Kong mass transit railway stations". *Journal of Transportation Engineering*, 2(5), 1607-1619, 1997.
- [15] Cheung CY, Lam WHK. "Pedestrian route choices between escalator and stairway in MTR stations". *Journal of Transportation Engineering*, 124(3), 277-285, 1998.
- [16] Lee JYS, Lam WHK, Wong SC. "Pedestrian simulation model for Hong Kong underground stations". *IEEE Intelligent Transportation System Conference Proceedings*, Oakland, CA, USA, 25-29 August 2001.
- [17] Hoogendoorn SP, Daamen W. "Design assessment of Lisbon transfer stations using microscopic pedestrian simulation". *Computers in Railways IX (Congress Proceedings of CompRail 2004)*, Dresden, Germany, 17-19 May 2004.
- [18] Maw J, Dix M. "Appraisals of station congestion relief schemes on London underground". *Proceedings of PTRC Seminar*, Sussex, England, 10-14 September 1990.



- [19] Daamen W. Modeling Passenger Flows in Public Transport Facilities. PhD. Thesis. Delft University Press, Netherlands, 2004.
- [20] Gwynne S, Galea ER, Owen M, Lawrence PJ, Filippidis P. "A review of the methodologies used in evacuation modelling". *Fire and Materials*, 23, 383-388, 1999.
- [21] Kisko TM, Francis RL. "EVACNET+: A computer program to determine optimal evacuation plans". *Fire Safety Journal*, 9(2), 211-220, 1985.
- [22] Takahashi K, Tanaka T, Kose S. "An evacuation model for use in fire safety design of buildings". *Fire Safety Science*, 2, 551-560, 1989.
- [23] Thompson P, Marchant E. "A computer model for the evacuation of large building populations". *Fire Safety Journal*, 24(2), 131-148, 1995.
- [24] Owen M, Galea ER, Lawrence PJ. "The exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios". *Journal of Fire Protection Engineering*, 8(2), 65-84, 1996.
- [25] Friedman R. "An international survey of computer models for fire and smoke". *Journal of Fire Protection Engineering*; 4(3), 81-92, 1992.
- [26] Olenick SM, Carpenter DJ. "An updated international survey of computer models for fire and smoke". *Journal of Fire Protection Engineering*, 13(2), 87-110, 2003.
- [27] Kuligowski ED. "Review of 28 Egress Models". Editors: Peacock RD, Kuligowski ED. Proceedings of Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies, 68-90, Washington, USA, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2005.
- [28] Santos G, Aguirre BE. *A Critical Review of Emergency Evacuation Simulation Models*. Editors: Peacock RD, Kuligowski ED. Proceedings of Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies, 27-52, Washington, USA, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2005.
- [29] Gwynne S, Galea ER, Lawrence PJ, Owen M, Filipidis L. *Validation of the Building EXODUS Model*. CMS Press, 1998.
- [30] Pelechano N, Malkawi A. "Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches". *Automation in Construction*, 17(4), 377-385, 2008.
- [31] Ozel F. "Simulation modeling of human behaviour in buildings". *Simulation*, 58(6), 377-384, 1992.
- [32] Fraser-Mitchell JN. "An Object-Oriented Simulation (CRISPII) for Fire Risk Assessment". *4th International Symposium on Fire Safety Science*, Ottawa, Canada, 13-17 June 1994.
- [33] Fraser-Mitchell JN. *The Lessons Learnt During the Development of CRISPII, A Monte Carlo Simulation for Fire Risk Assessment*. Editors: Franks C, Grayson S. Proceedings of the Seventh International Fire Science and Engineering Conference, Interflam '96, 631-639, Bromley, UK, Interscience Communications, 1996.
- [34] Donegan HA, Pollock AJ, Taylor IR. "Egress Complexity of a Building". *4th International Symposium on Fire Safety Science*, Ottawa, Canada, 13-17 June 1994.
- [35] Ketchell N, Cole SS, Webber DM. *The EGRESS Code for Human Movement and Behaviour in Emergency Evacuation*. Editors: Smith RA, Dickie JF. Engineering for Crowd Safety, 361-370, London, UK, Elsevier, 1993.
- [36] Ketchell N. "Evacuation Modelling: A New Approach". *1st International Conference on Fire Science and Engineering. ASIAFLAM '95*, Kowloon, Hong Kong, 15-16 March 1995.
- [37] Reisser-Weston E. "Simulating human behaviour in emergency situation". *International Conference of Escape Evacuation and Rescue - Design for the Future*, London, UK, 19-20 November 1996.
- [38] Taylor IR. *A Revised Interface for Evacnet +*. Editors: Franks C, Grayson S. Proceedings of the Seventh International Fire Science and Engineering Conference, Interflam '96, 1010-1017, Bromley, UK, Interscience Communications, 1996.
- [39] Buckmann LT, Leather JA. "Modelling station congestion the PEDROUTE way". *Traffic Engineering and Control*, 35(6), 373-337, 1994.
- [40] Poon LS, Beck VR. "EVACSIM: Simulation Model of Occupants with Behavioural Attributes in Emergency Evacuation of High Rise Buildings". *4th International Symposium on Fire Safety Science*, Ottawa, Canada, 13-17 June 1994.
- [41] Poon LS. "Numerical Modeling of Human Behavior during Egress in Multi-Storey Office Building Fires Using Evacsim- Some Validation Studies". *1st International Conference on Fire Science and Engineering. ASIAFLAM '95*, Kowloon, Hong Kong, 15-16 March 1995.
- [42] Fahy RF. "An Evacuation Model for High Rise Buildings". *3rd International Symposium on Fire Safety Science*, Edinburgh, Scotland, 8-12 July 1991.
- [43] Levin B. "EXITT, A Simulation Model of Occupant Decisions and Actions in Residential Fires". *2nd International Symposium on Fire Safety Science*, Tokyo, Japan, 13-17 June 1988.
- [44] Levin BM. "EXITT-A Simulation Model of Occupant Decision and Actions in Residential Fires: User's Guide and Program Description". National Bureau of Standards, Gaithersburg, USA, 87-3591, 1987.
- [45] Okasaki S, Matsushita S. *A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement with Evacuation and Queuing*. Editors: Smith RA, Dickie JF. Engineering for Crowd Safety, 271-280, London, UK, Elsevier, 1993.
- [46] Barton J, Leather J. "Paxport-Passenger and crowd simulation". *Passenger Terminal*, 71-77, 1995.
- [47] Thompson PA, Marchant EW. "Testing and application of the computer model 'SIMULEX'". *Fire Safety Journal*, 24(2), 149-166.
- [48] Thompson PA, Wu J, Marchant EW. "Modelling Evacuation in Multi-Storey Buildings with Simulex". *Fire Engineers Journal*, 56(185), 6-11, 1996.
- [49] Still GK. "New computer system can predict human response to building fires". *Fire*, 84, 40-41, 1993.
- [50] Still GK. "Simulating Egress Using Virtual Reality-A Perspective View of Simulation and Design". *IMAS '94 Fire Safety on Ships*, London, UK, 26-27 May 1994.
- [51] Shestopal VO, Grubits SJ. "Evacuation model for merging traffic flows in multi-room and multi-storey buildings". *4th International Symposium on Fire Safety Science*, Ottawa, Canada, 13-17 June 1994.
- [52] Gwynne S, Galea ER, Owen M, Lawrence PJ, Filippidis L. "A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment". *Building and Environment*, 34(6), 741-749, 1999.
- [53] İzmir Metro AŞ. "Stratejik Plan 2015-2019". <http://www.izmirmetro.com.tr/Sayfa/16/4/entegre-yonetim> (03.09.2015).
- [54] İzmir Metro AŞ. "İzmir Büyük Şehir Belediyesi, Raylı Sistem Şeması". <http://www.izmirmetro.com.tr/Sayfa/39/18/rayli-sistem-haritasi> (03.09.2015).
- [55] Simulex User Guide 5.9, Simulex 5.9.