

IJHS

By CEM KIRLANGICOGU



Use of pedestrian simulation technologies in urban planning and architectural design process	Şehir planlama ve mimari tasarım sürecinde yaya simülasyonu teknolojilerinin kullanımı
<p>Abstract</p> <p>Urban planners and architects have used different design criteria by following project processes different from each other through the ages. The common point of all these projects has been functionality which is one of the most important criteria for human based design. Aesthetics, beauty and similar terms may be arguable but a non-functional spatial design must not be accepted. All spaces, cities, squares, parks, roads and buildings are designed for people. If these urban structures are not suitable for them, they will react to these designs, designers and managers. Therefore, ergonomics and functionality terms must be the basic design criteria of all human based urban planning and architectural design processes. How may it be possible for anyone to understand an urban design project or a building is functional before constructing it? The aim of this article is to explain the benefits of pedestrian simulation technologies through the design processes in both theoretical and practical frameworks on a case study area which is an underground metro station.</p> <p>Keywords: Pedestrian simulation; Metro station; Capacity analysis; Human based design; Architecture</p>	<p>Özet</p> <p>Geçmişten günümüze şehir planlama ve mimarlık alanında gerçekleştirilen çalışmalarda çeşitli tasarım kriterleri kullanılmış, birbirinden farklı planlama süreçleri izlenmiştir. İnsanların kullanımına yönelik gerçekleştirilen hemen hemen tüm çalışmaların en önemli ortak noktası ise 'kullanışlılık' olmuştur. Estetik, güzellik ve benzeri göreceli kavramlar tartışılabilir olmakla birlikte, insanların kullanımı için tasarlanan bir yapının fonksiyonel olmaması düşünülemez. Planlanan kentler, meydanlar, yollar, yapılar kullanışlı olmadığı takdirde kullanıcılar tarafından tepki görecektir ve eleştiriye maruz kalacaklardır. Bu nedenle gerçekleştirilen tüm şehir planlama ve mimarlık çalışmalarında hem ergonomi hem de kullanışlılık konusuna çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Peki, kentsel tasarımı yapılan bir proje alanının ya da mimarlar tarafından tasarlanan bir yapının fonksiyonel olup olmadığını daha inşa edilmeden nasıl anlayabiliriz? Bu çalışmanın amacı, son yıllarda gelişen yaya simülasyonu teknolojilerinin mimarlık ve planlama alanındaki projelerin tasarım değerlendirme süreçlerinde kullanımının yararlarını hem teorik açıdan ortaya koymak hem de gerçekleştirilen örnek bir çalışma üzerinde göstermektir.</p>

6

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

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

5

6

1. Giriş

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

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

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

Simülasyon teknolojileri şehir plancılarına, mimarlara ve mühendislere tasarımlarını bilgisayar ortamında test etme fırsatı sunmaktadır. Projelerinin fonksiyonelliğine dair niceliksel ve niteliksel çıktılar sağlayarak projenin iyileştirilmesine katkı sunmaktadır. Simülasyon neticesinde ortaya çıkan sonuçlar uzman kişiler tarafından doğru şekilde yorumlandığı takdirde, tasarım hataları inşa öncesinde fark edilebilecek ve gerekli revizyonlar yapılabilecektir. Böylelikle ortaya çok daha verimli, kullanışlı ve güvenli yapılar çıkacaktır. Günlük hayatta, özellikle diğer insanlar ile birlikte kullandığımız kamusal alanlarda, planlama ve tasarım kaynaklı hatalar çok sayıda insanın günlük hayat akışını olumsuz etkilemektedir.

Havaalanı, stadyum, alışveriş merkezi, metro istasyonu vb. yapılar her gün on binlerce insan tarafından kullanılmaktadır. Bu tip mekânlarda yapının inşası sonrası ortaya çıkabilecek ve geri dönülemeyecek tasarım hataları, kullanıcılara hem zaman hem de konfor kaybı olarak geri dönecek, aynı zamanda geri kazanılması mümkün olmayan kaynak kayıplarına yol açacaktır. Günlük 100.000 yolcu tarafından kullanılan bir metro istasyonunda trene erişimi kısıtlayacak şekilde konumlandırılmış kolonlar, sayı olarak yetersiz turnikeler, zirve saatlerdeki yolcu talebini karşılayamayan yürüyen merdivenler her bir yolcu için önemli zaman kaybına neden olur. Bu tip tasarım hataları normal işletme senaryosunda sadece zaman ve konfor kaybına sebebiyet verebilirken, acil durum işletme

51 senaryosunda ise daha ciddi kayıplara neden olabilmektedir. Metro istasyonunda olası bir yangın
52 anında 4 dakikada boşaltılması gereken platform katının, yetersiz ya da kullanışsız acil çıkış
53 merdivenleri sebebiyle zamanında boşaltılmaması durumunda, çok sayıda can ve mal kaybı söz
54 konusu olacaktır. Yer altı metro istasyonlarındaki yolcu alanların sorunsuz bir şekilde kullanımının
55 sağlanması, bu alanların ergonomi ve fonksiyonellik ölçütlerine uygun tasarlanmasına ve
56 uygulanmasına bağlıdır (Maden & Avlar, 2017, s. 14). İstasyonlarda istenmeyen durumların oluşmasını
57 engellemek adına, bu tip yapılar mimari tasarım sürecinde, normal işletme ve acil durum senaryoları
58 bilgisayar ortamında simüle edilmelidir. Böylelikle kapasite analizleri çok daha sağlıklı bir şekilde
59 yapılabilir, tasarımdaki mimari erişilebilirliği kısıtlayan hatalar önceden görülebilir ve gerekli
60 revizyonlar yapılarak projeye son hali verilebilir.

5

62 2. Materyal ve Metot

64 2.1. Çalışma Alanı

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

71 2.2. Materyal

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

77 2.3. Yöntem

78 Çalışmada yolcu hareketlerinin ve rota seçiminin 3 boyutlu sanal mekanlarda davranışsal profiller
79 kullanılarak öngörülmesi amacıyla birey tabanlı (agent-based) simülasyon algoritması kullanılmıştır.
80 Literatür taraması neticesinde, 2018 yılı itibarıyla bu alanındaki en gelişmiş 3 boyutlu yaya simülasyonu
81 yazılımlarından biri olan Massmotion tercih edilmiştir. Bu yazılımda, tasarlanan mekana giriş ve çıkış
82 yapacak kullanıcı sayıları sisteme girilerek 3 boyutlu mekan tasarımı kapasite ve sirkülasyon açısından
83 test edilebilmektedir (Rivers & Jaynes, 2011, s. 12). Değerlendirme aşamasında bireyler mekânsal
84 olarak analiz edildiği gibi diğer bireylerle olası etkileşimlerinden yola çıkılarak, mekânı kullanan tüm
85 bireylerin ilk hareket noktasından son varış noktasına kadar gerçekleştireceği davranışlar da simüle
86 edilmektedir (King, Sriukenthiran, & Shalaby, 2013, s. 9). Tek bir bireyin tasarlanan bir mekânda
87 nihai hedefine varana kadar izleyeceği yol, yürüyeceği koridor, bineceği asansör, kullanacağı yürüyen
88 merdiven deneyimli bir mimar tarafından simülasyona gerek kalmadan da kabaca tahmin edilebilir.
89 Fakat aynı mekânı aynı anda kullanan binlerce bireyin hareketi öngörülmek istendiğinde, bireyler
90 sadece mimari objelerle değil diğer bireyler ile de etkileşim halinde olacaklardır.

91 Bu ve benzeri karmaşık sirkülasyon sorunlarının çözümünde Massmotion yazılımının Sosyal
92 Kuvvetler Algoritması (Helbing & Molnar, 1998, s. 6) devreye girmekte ve bireylerin hareketlerinin
93 analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu model, bireyleri fiziki ve sosyal faktörler ile etkileşime sokarak
94 çıkış noktasından varış noktasına ulaşmaya çalışan, karşılaştığı durumlara göre kendi kararını kendi
95 veren dinamik objeler olarak ele almaktadır (Rivers, Jaynes, Kimball, & Morrow, 2014, s. 123).
96 Bireylerin kalabalık içindeki güzergâh seçimleri; gerçekleştirilen mesafe analizleri, kalabalık içindeki
97 muhtemel sıklık durumu ve bekleme süresi gibi faktörler göz önüne alınarak ortaya konmaktadır

98 (Bateman, Laspa, & Morrow, 2007, s. 10). Tüm faktörler bir arada değerlendirildikten sonra en uygun
99 yol seçilmekte ve bireyler hedeflerine doğru ilerlemektedir. Her bir birey tarafından ayrı ayrı
100 gerçekleştirilen bu zamansal ve mekânsal maliyet hesabına ilişkin basitleştirilmiş formül aşağıdaki
101 gibidir (Rivers, Jaynes, Kimball, & Morrow, 2014, s. 124).

$$102 \quad \text{Maliyet} = W_D \cdot (D_G/V) + W_Q \cdot Q + W_L \cdot L \quad (1)$$

103 W_D : *Ağırlıklı Mesafe*

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

105 V : *Bireyin öngörülen hızı*

106 W_Q : *Kıvruklanmanın Ağırlık Derecesi*

107 Q : *Kıvrukta Geçirilecek Olan Süre*

108 W_L : *Ağırlıklı Bağlantı Seçimi*

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

110

111 2. Metro İstasyonu Yolcu Simülasyonu

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

122

123

124

125

Tablo 1. Metro Hattı Zirve Saat Yolculuk Değerleri

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

126

127

128

129

130

131

132

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

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

$$136 \quad \text{OiYS} = \text{TYS} * \text{SA}/60 * \text{ZsF} \quad (2)$$

138 OiYS: *Ortalama İnen Yolcu Sayısı*

140 TYS: *Toplam Yolcu Sayısı*

141 SA: *Sefer Aralığı*

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

143
144 Bu formüle göre hesaplanan ve zirve saatte E istasyonunda trenden inen yolcu sayılarını gösteren
145 dağılım Tablo 2'de verilmiştir.

146
147 **Tablo 2.** Zirve Saatte E İstasyonunda Trenden İnen Yolcu Sayılarının Dağılımı

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

148
149 Binen yolcu sayısını bulabilmek için kullanılan eşitlik ise şu şekildedir:

$$151 \quad \text{ObYS} = \text{TYS} * \text{SA}/60 * \text{ZsF} \quad (3)$$

152 ObYS: *Ortalama Binen Yolcu Sayısı*

153 TYS: *Toplam Yolcu Sayısı*

154 SA: *Sefer Aralığı*

155 ZsF: *Zirve Saat Faktörü (1,25)*

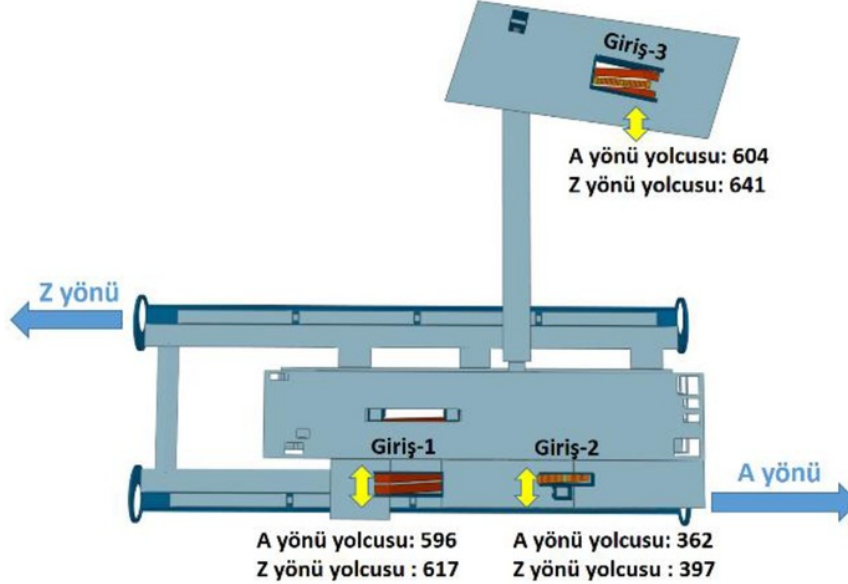
156
157 Bu formüle göre hesaplanan ve zirve saatte E istasyonundan trene binen yolcu sayılarını gösteren
158 dağılım Tablo 3'te verilmiştir.

159
160
161 **Tablo 3.** Zirve Saatte E İstasyonundan Trene Binen Yolcu Sayılarının Dağılımı

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

162 İstasyon tasarımında, trene binmek üzere E istasyonuna giriş yapacak yolcular için 3 giriş bölgesi
163 planlanmaktadır. Bu 3 giriş bölgesinin kullanım oranları İdare tarafından buldukları lokasyona ve
164 yakın çevrelerindeki arazi kullanım türlerine göre belirlenmiş ve toplam yolcu sayısı bu 3 girişe oransal
165 olarak dağıtılmıştır. Buna göre E istasyonundan Z yönüne gidecek 1655 yolcunun %37'sinin Giriş-
166 1'i, %24'ünün Giriş 2'yi, %39'unun ise Giriş 3'ü kullanacağı öngörülmüştür. E istasyonundan A
167 yönüne gidecek 1508 yolcunun ise %36'sının A Girişini, %24'ünün B Girişini, %40'ının ise C Girişini

168 kullanacağı öngörülmüştür. Zirve saatte istasyonu kullanacağı öngörülen yolcu sayılarının girişlere
169 göre dağılımı istasyon vaziyet planı üzerinde gösterilmiştir (Şekil 1).



170
171
172

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

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



187
188

Şekil 2. Güzergâhlarına Göre Renklendirilen Yolcu Tipleri

189 3. Bulgular

190 Elde edilen simülasyon sonuçları doğrultusunda, zirve saatte E istasyonunu kullanacak olan
 191 yolcuların deneyimleyeceği "Hizmet Seviyesi" öngörülmüştür. Hizmet seviyesi (HS), yolcu
 192 deneyimlerine dayanan bir veya daha çok tesisin hizmet kalite ve durumlarını temsil etmektedir. Metro
 193 istasyonunu kullanacak yolcuların istasyona girdikleri andan trene binip istasyonu terk ettikleri ana
 194 kadarki süreyi kapsar. Bu süre içinde yolcuların bilet holüne varış süresi, bekleme zamanı, işlem
 195 zamanı, yürüme süresi, peronda bekleme süresi vb. parametrelerin yolcuların yaşadığı yoğunluklar,
 196 gecikmeler, sıkışıklıklar vb. faktörlerle karşılıklı olarak ilişkilendirilerek hizmet seviyesinin düzeyi
 197 belirlenmektedir. Hizmet seviyesini belirlemek için Fruin Hizmet Seviyesi Standartları kullanılmıştır
 198 (Şekil 3). Bu standartlara göre HS=A (en iyi)'den HS=F (kabul edilemez)'e kadar olan bir
 199 değerlendirme sistemi kullanılmaktadır. Zirve saatlerindeki yolcu sirkülasyonları için A, B, C, D
 200 seviyeleri kesinlikle kabul edilebilir, E seviyesi yolcu kapasitesi yüksek istasyonlar için kabul edilebilir,
 201 F seviyesi ise kesinlikle kabul edilemez değerler olarak belirlenmiştir (Fruin, 1987, s. 1).
 202

Koridorlar İçin Hizmet Seviyesi Standartları	HS	Yoğunluk (kişi / m ²)	Alan (m ² / kişi)	Renk
	A	$x \leq 0.309$		$x \geq 3.24$
B	$0.309 < x \leq 0.431$		$3.24 > x \geq 2.32$	Cyan
C	$0.431 < x \leq 0.719$		$2.32 > x \geq 1.39$	Green
D	$0.719 < x \leq 1.075$		$1.39 > x \geq 0.93$	Yellow
E	$1.075 < x \leq 2.174$		$0.93 > x \geq 0.46$	Orange
F	$2.174 < x$		$0.46 > x$	Red

Merdivenler İçin Hizmet Seviyesi Standartları	HS	Yoğunluk (kişi / m ²)	Alan (m ² / kişi)	Renk
	A	$x \leq 0.541$		$x \geq 1.85$
B	$0.541 < x \leq 0.719$		$1.85 > x \geq 1.39$	Cyan
C	$0.719 < x \leq 1.076$		$1.39 > x \geq 0.93$	Green
D	$1.076 < x \leq 1.539$		$0.93 > x \geq 0.65$	Yellow
E	$1.539 < x \leq 2.702$		$0.65 > x \geq 0.37$	Orange
F	$2.702 < x$		$0.37 > x$	Red

Platform vb. Bekleme Alanları İçin Hizmet Seviyesi Standartları	HS	Yoğunluk (kişi / m ²)	Alan (m ² / kişi)	Renk
	A	$x \leq 0.826$		$x \geq 1.21$
B	$0.826 < x \leq 1.075$		$1.21 > x \geq 0.93$	Cyan
C	$1.075 < x \leq 1.538$		$0.93 > x \geq 0.65$	Green
D	$1.538 < x \leq 3.571$		$0.65 > x \geq 0.28$	Yellow
E	$3.571 < x \leq 5.263$		$0.28 > x \geq 0.19$	Orange
F	$5.263 < x$		$0.19 > x$	Red

* HS: Hizmet Seviyesi

203
204
205
206 **Şekil 3.** Fruin Hizmet Seviyesi Standartları

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

210 Yolcu simülasyonunun gerçekleştirilebilmesi ve Hizmet Seviyesinin belirlenebilmesi için öncelikle
 211 bazı ön kabullerin yapılması gerekmektedir. Türkiye'deki metro pr4elerinin istasyon kapasite
 212 hesaplarında da sıklıkla kullanılan bu ön kabuller genel olarak ulusal 'Şehir içi Yollar-Raylı Taşıma
 213 Sistemleri Bölüm 1: Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Kuralları' (Türk Standartları Enstitüsü, 1997,
 214 s. 2) ve uluslararası 'Sabit Hatlı Raylı Toplu Taşıma Sistemleri için Standart' (National Fire Protection
 215 Association, 2016, s. 2) standartlarından yola çıkılarak hazırlanmıştır (Tablo 3).
 216
 217

218
219**Tablo 3.** Yolcu Simülasyonunda Kullanılan Değerler ve Ön Kabuller

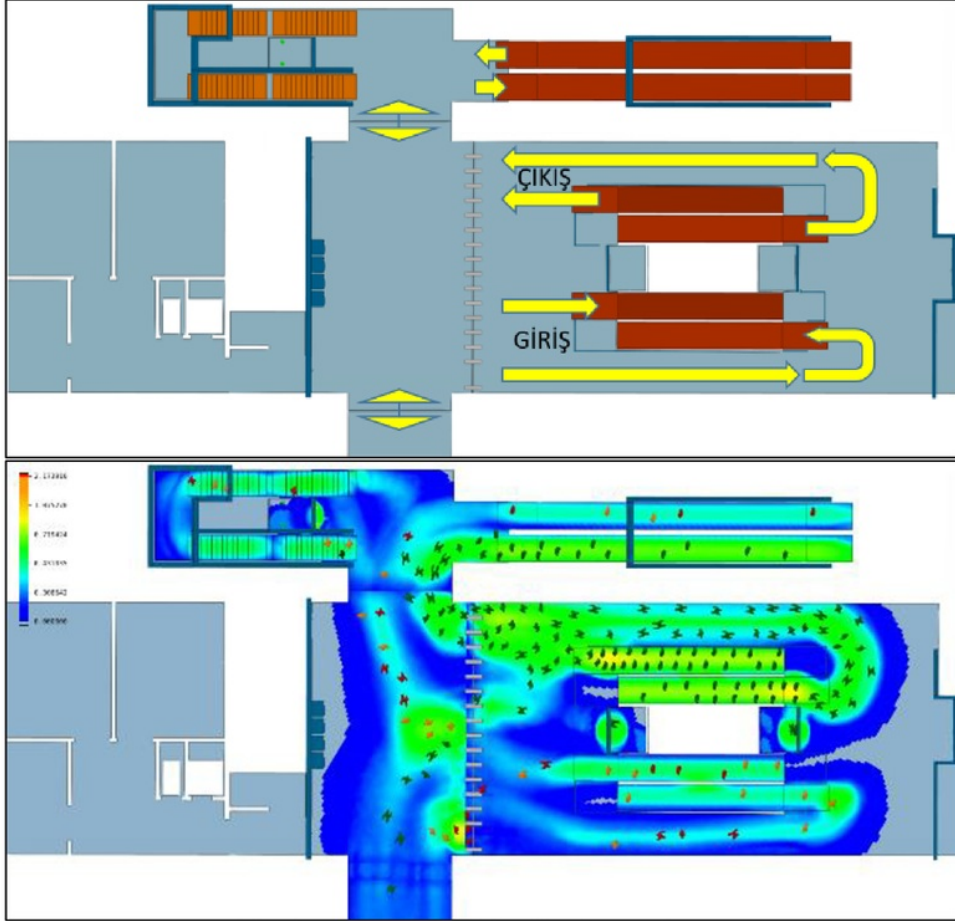
Araç Kapasitesi	270	kişi/araç
Vagon Sayısı	4	
Zirve Saat Sefer Aralığı	3	dk
Zirve Saat Faktörü	1,25	
Peron Kapasitesi (Normal)	0,5	m ² /kişi
Peron Kapasitesi (Kalabalık)	0,2	m ² /kişi
Bilet Holü Kapasitesi	1	m ² /kişi
Yolcuların Yürüme Hızı (Peron, Koridor, Rampa)	38	m/dk
Yolcuların Yürüme Hızı (Konkors)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

220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233

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

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

234



235

236

237

Şekil 4. Konkors Katı Yolcu Simülasyonu Sonucu

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

Konkors Katı Yolcu Simülasyonu sonuçları incelendiğinde görülmektedir ki;

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

- 254 • Asansörlerin konumu ve sayısı yeterlidir.
255 • İstasyona giriş ve çıkış sağlayan yürüyen merdivenler ile sabit merdivenler yolcu
256 sayısını sorunsuz şekilde karşılayacak ve yeterli hizmet seviyesini sağlayacak düzeydedirler.

257

258

259

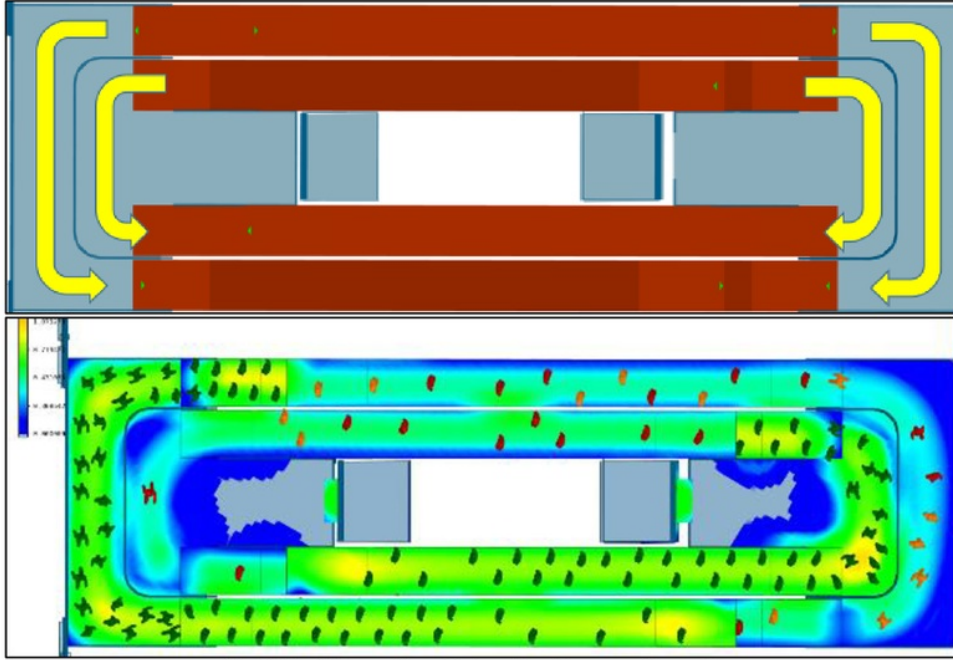
260

261

262

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

263



264

265

266

Şekil 5. Balkon Katı Yolcu Simülasyonu Sonuçları

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

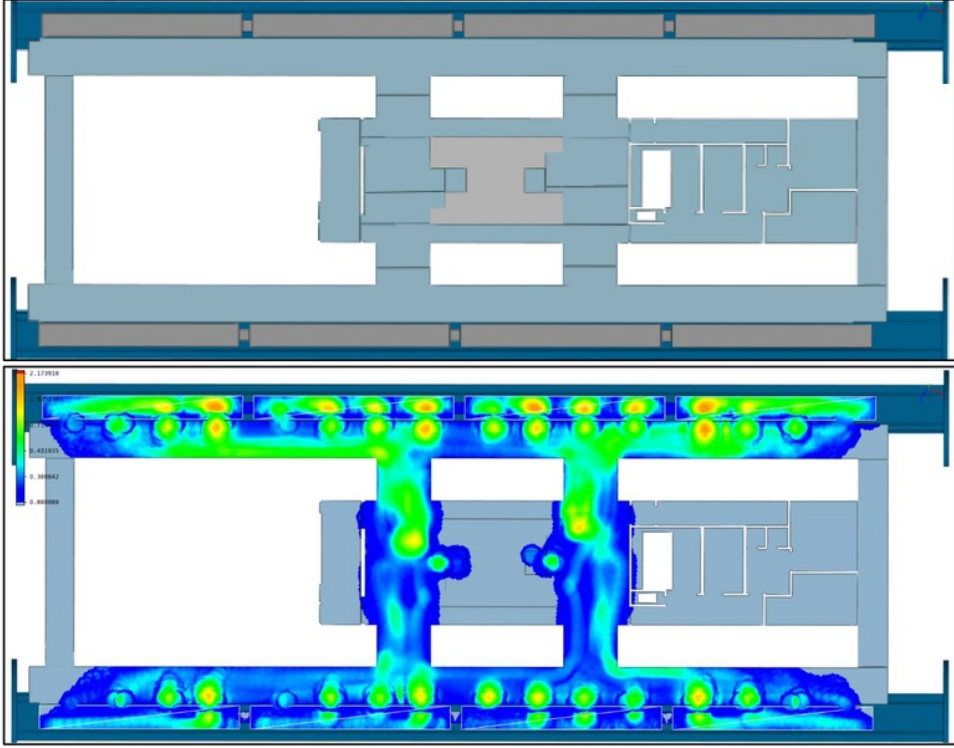
282

283

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

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

284



285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

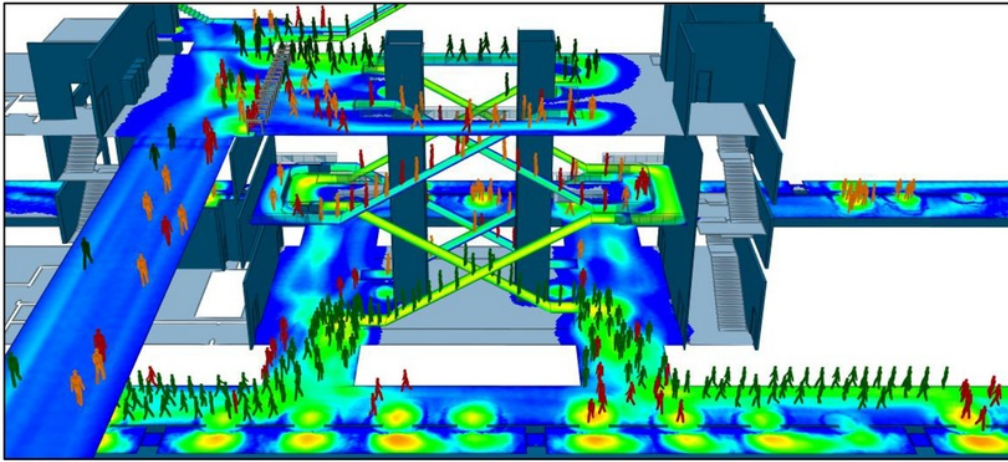
Şekil 6. Platform Katı Yolcu Simülasyonu Sonuçları

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

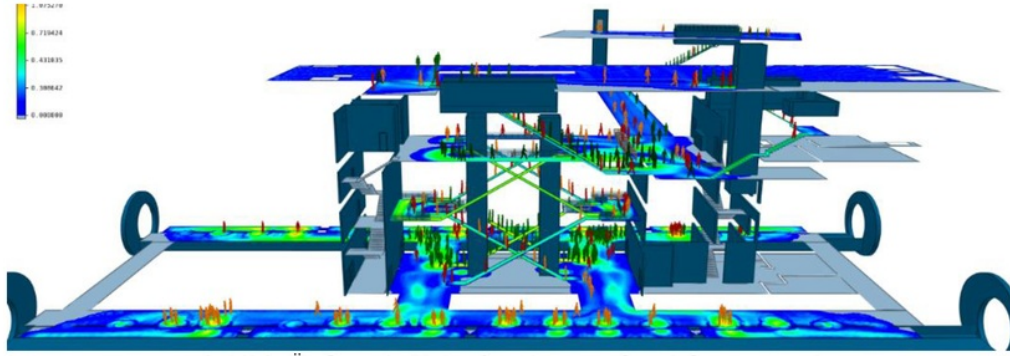
Gerçekleştirilen 3 boyutlu yolcu simülasyonunun sonuçları tüm katları bir arada gösterecek şekilde de görüntülenebilmektedir (Şekil 7-8).

295

296



Şekil 7. Üç Boyutlu Yolcu Simülasyonu Genel Görünüm – 1



Şekil 8. Üç Boyutlu Yolcu Simülasyonu Genel Görünüm – 2

297
298
299

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

307
308

4. Sonuç

309

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

322

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

330

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

334
335

Extended English summary

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

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

Interdisciplinary studies are indispensable parts of our lives especially while working on multi-purpose, complex and densely used environments. Thus, we need new tools to work on the same project all together with the other team members. Building Information Modeling (BIM) technology supplies a platform to urban planners, architects, civil engineers, electrical engineers, mechanical engineers and other related professions to integrate their works on the same platform and discuss on the project. It is an integrated system including the design process, construction process and operating processes. It has important advantages rather than the similar technologies in terms of cost, time, speed, accuracy and precision in projects. Now, a new technique is on the market to take design process much further: 3D Pedestrian Simulation Technologies.

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

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

Tens of thousands of people use crowded structures such as airport, stadium, shopping center, metro station etc. everyday. If design flaws are noticed after completing the construction of the building, generally no way back to fix the mistake; but if the flaws are noticed in the design process by simulation techniques, the technical drawings may be revised and simulated again until finding the best design. It is not only about comfort and speed of people, but also about the security. The designer has to know that the building has the minimum necessary capacity to evacuate all people securely in case of emergencies. For instance, the platform floor of a metro station has to be evacuated in maximum 4 minutes in case of emergency. There are some conventional methods to

10

385 calculate these kind of standards but none of them is as effective as new 3D pedestrian simulation
386 technologies using BIM integrated models and scientifically proven algorithms.

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

3%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.sausem.net Internet	41 words — 1%
2	polen.itu.edu.tr Internet	31 words — 1%
3	www.redalyc.org Internet	20 words — < 1%
4	katalog.ibb.gov.tr Internet	15 words — < 1%
5	bof.bartın.edu.tr Internet	12 words — < 1%
6	www.j-humansciences.com Internet	11 words — < 1%
7	www.akadmuhendislik.com Internet	9 words — < 1%
8	abiquim.org.br Internet	9 words — < 1%
9	www.dicle.edu.tr Internet	9 words — < 1%
10	www.dostavim-cveti.ru Internet	8 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES OFF

EXCLUDE MATCHES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY OFF