

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANLARIN ANTROPOMETRİK ÖZELLİKLERİ İLE MİMARİ
BİNALARDA KAÇIŞ SENARYOSU OPTİMİZASYONU**

Onur Mahmut PİŞİRİR

**Danışman
Prof. Dr. Okan BİNGÖL**

**II. Danışman
Doç. Dr. İlker ERKAN**

**DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA- 2023**



© 2023 [Onur Mahmut PİŞİRİR]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	13
2.1. Antropometri Çalışmaları	13
2.2. Sosyal Kuvvet Modeli ve Tahliye Optimizasyonu Çalışmaları	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Antropometri	18
3.1.1. Türkiye’de Yapılan Antropometri Çalışmaları	20
3.2. Antropometrik Verilerin Elde Edilmesi	21
3.3. Kalabalıkların Dinamiği	26
3.3.1. Kalabalık Dinamiklerinin Modellenmesi	28
3.3.1.1. Makroskobik Modeller	28
3.3.1.1.1. Akışkan Dinamiği Modeli (Fluid Dynamics Model)	29
3.3.1.1.2. Gaz-Kinetik Model (Gas-Kinetic Model)	30
3.3.1.2. Mikroskobik Modeller	31
3.3.1.2.1. Hücresel Otomat (Cellular Automata)	32
3.3.1.2.2. Sosyal Kuvvet Modeli (Social Force Model)	34
3.4. Sosyal Kuvvet Modeli ve Uygulanması	35
3.4.1. İtici Kuvvet	38
3.4.2. Yayalar Arası Etkileşim	39
3.4.2.1. Yayaların Temel Hareketi	42
3.4.3. Sınır Etkileşimleri	44
3.5. Tahliye Planlaması	44
3.6. Sosyal Kuvvet Modelinin Tahliye Planlamasına Uyarlanması	46
3.6.1. “Faster is Slower” Etkisi	48
3.7. Yaya Parametreleri	51
3.7.1. Yaya Parametrelerinin Simülasyona Uyarlanması	54
3.8. K-Means Kümeleme	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	58
4.1. Sosyal Kuvvet Modeli Temelli Simülasyon	66
4.2. Senaryo 1’in Çalışması ve Sonuçlar	74
4.3. Senaryo 2’nin Çalışması ve Sonuçlar	79
4.4. Senaryo 3’ün Çalışması ve Sonuçlar	84
4.5. Senaryo 4’ün Çalışması ve Sonuçlar	91
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	97
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	108

ÖZET

Doktora Tezi

İNSANLARIN ANTROPOMETRİK ÖZELLİKLERİ İLE MİMARİ BİNALARDA KAÇIŞ SENARYOSU OPTİMİZASYONU

Onur Mahmut PİŞİRİR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Okan BİNGÖL

II. Danışman: Doç. Dr. İlker ERKAN

Acil durumlarda panik halinde hareket etme eğilimi, insanların hayatlarını ve güvenliklerini tehlikeye atan ciddi bir durumdur. Kalabalık etkinlikler, topluluklar ve mekanlarda yaşanan tahliye senaryoları, kontrolsüz bir şekilde gerçekleşebilir ve felakete neden olabilir. Bu nedenle, acil durum tahliyeleri için önceden planlama ve tedbirler almak, yaralanmaları ve kayıpları azaltmada kritik öneme sahiptir. Ancak, gerçek hayatta her acil durum senaryosunun pratik bir şekilde test edilmesi mümkün olmayabilir. Bu nedenle, modellemeler ve simülasyonlar, acil durumların etkilerini anlamak ve uygun önlemleri almak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Antropometrik veriler, insan vücut ölçülerini sayısal olarak ifade eden verilerdir. Bu veriler, tasarlanacak sistemlerde, mekanlarda, donanımlarda ve araç-gereçlerde insanların ihtiyaçlarına uygun tasarımların yapılmasına yardımcı olur. Her toplumun antropometrik verileri farklılık gösterebilir, bu nedenle insanların ihtiyaçlarına ve fiziksel özelliklerine uygun tasarımların yapılabilmesi için bu verilerin bilinmesi önemlidir. Mimari tasarımda antropometrik verilerin kullanılması, acil durumlar ve yangın tahliyeleri gibi kritik durumlar için güvenli tahliye rotalarının belirlenmesine ve acil durumlar karşısında insanların hızlı ve etkili şekilde hareket edebilmesine katkı sağlar. Acil durum tahliye sistemleri, alışveriş merkezlerinde, stadyumlarda, havaalanlarında ve diğer kalabalık alanlarda hayati öneme sahiptir. Sosyal Kuvvet Modeli, kalabalıkların davranışlarını ve hareketlerini anlamak için kullanılan bir modeldir. Bu model, insanların sosyal etkileşimleri ve fiziksel çevreleri arasındaki etkileşimleri göz önünde bulundurarak, kalabalıkların hareketini ve davranışını matematiksel olarak modeller. Acil durum tahliyesinde Sosyal Kuvvet Modeli, insanların belirli bir mekândan hızlı ve güvenli bir şekilde çıkış yapma davranışlarını anlamak ve tahliye rotalarını belirlemek için kullanılır. Bu model, kalabalık içindeki her bireyin birbirleriyle etkileşimini ve çevresel faktörleri dikkate alır.

Bu tez çalışmasında mimari yapılarda acil durum tahliye senaryolarını iyileştirmek için bir sistem geliştirilmiştir. Sistem için insanların antropometrik verileri alınmış ve sosyal kuvvet modeline eklenmiştir. Sosyal kuvvet modeli ile

acil durumlarda en fazla kullanılabilir rota belirlenmiş ve mekân tasarımı ile ilgili fikir vermesi amaçlanmıştır. Sistem mekânda bulunan insan sayısı ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak, tahliye sürecinin analizine olanak sağlamaktadır. Antropometrik verilere göre tahliye rotası için kümeleme yöntemi kullanılmış, böylece insanların uygun çıkışları seçmesine yardımcı olabilecek sistem tasarlanmıştır. Dört farklı senaryo içinde denemeler yapılarak tahliye süreleri karşılaştırılmış ve tahliye için en uygun durumlar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antropometri, Kalabalıkların Dinamiği, Sosyal Kuvvet Modeli, Optimizasyon.

2023, 109 sayfa



ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EVACUATION SCENARIO OPTIMIZATION IN ARCHITECTURAL BUILDINGS WITH HUMAN ANTHROPOMETRIC CHARACTERISTICS

Onur Mahmut PİŞİRİR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Okan BİNGÖL

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlker ERKAN

The state of having a tendency to act in a panic during emergencies is a serious condition that endangers people's lives and safety. Evacuation scenarios in crowded events, communities and venues occur uncontrollably and lead to tragic disasters. Therefore, planning ahead and taking precautions for emergency evacuations is critical to reduce human injuries and casualties. However, it may not be possible to practically test every emergency scenario in real life. Therefore, modeling and simulations are widely used to understand the effects of emergencies and take appropriate measures. Anthropometric data are numerical expressions of human body measurements. These data help to design systems, spaces, equipment and tools to meet the needs of people. The anthropometric data of each society may differ; thus, it is crucial to know these data in order to make designs suitable for the needs and physical characteristics of people. The use of anthropometric data in architectural design contributes to the determination of safe evacuation routes for critical situations such as emergencies and fire evacuations, and to the rapid and effective movement of people in the face of emergencies. Emergency evacuation systems are vital in shopping malls, stadiums, airports and other crowded areas. The Social Force Model is a model used to understand the behavior and movement of crowds. This model mathematically models the movement and behavior of crowds, taking into account the interactions between people's social interactions and their physical environment. In emergency evacuation, the Social Force Model is used to understand the behavior of people to exit a given space quickly and safely and to determine evacuation routes. This model takes into account the interaction of each individual in the crowd and environmental factors.

In this thesis, a system is developed to improve emergency evacuation scenarios in architectural buildings. For the system, anthropometric data of people were taken and added to the social force model. With the social force model, the route that can be used most in emergencies is determined and it is aimed to give an idea about space design. The system allows the evacuation process to be analyzed by taking into account the number of people in the space and their

physical characteristics. According to anthropometric data, the clustering method was used for the evacuation route, therefore the system was designed to help people choose the appropriate exits. Evacuation times were compared in four different scenarios and the most suitable situations for evacuation were determined.

Keywords: Anthropometry, Crowd Dynamics, Social Force Model, Optimization.

2023, 109 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Okan BİNGÖL'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmaya bilgi ve tecrübeleriyle önemli katkılar sunan ve ikinci danışmanlığımı yapan değerli hocam Doç. Dr. İlker ERKAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Tez İzleme Komitesi üyesi hocalarım Prof. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE ve Doç. Dr. Erdal AYDEMİR'e teşekkür ederim. Matematik model çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Sırma Zeynep ALPARSLAN GÖK ve Prof. Dr. Duygu ARUĞASLAN ÇİNÇİN'e teşekkür ederim. MATLAB çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Kemal SAPLIOĞLU hocama teşekkür ederim.

Çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel birikimi ve tavsiyeleri ile desteğini her zaman hissettiğim meslektaşım Dr. Öğr. Üyesi Serdar PAÇACI'ya teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Öğr. Gör. Ayşe PİŞİRİR'e, aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Onur Mahmut PİŞİRİR
ISPARTA, 2023

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İzdiham sırasında tipik sorunlar	4
Şekil 3.1. Antropometrik ölçümler	19
Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılabilen dijital kumpas ve metre	22
Şekil 3.3. Omuz genişliği ve göğüs derinliği ölçümü	23
Şekil 3.4. Antropometrik veriler için kullanılan sistem	25
Şekil 3.5. Antropometrik verileri ölçmek için kullanılan çalışan sistem	26
Şekil 3.6. Kalabalıkların dinamiği modelleme yöntemleri	28
Şekil 3.7. Moore komşuluğu	32
Şekil 3.8. (a) Hücre komşuluğu ve (b) tercih matrisi	33
Şekil 3.9. Sosyal kuvvet modeli kuvvetlerinin temsili gösterimi	37
Şekil 3.10. Yaya α ve yaya β arasındaki mesafe	41
Şekil 3.11. $F\alpha\beta$ anizotropik davranış karakteristiği	42
Şekil 3.12. Kalabalık hareketi temel durumlarının görselleştirilmesi	43
Şekil 3.13. Yayaların çıkışa hareket ederken simülasyonları	49
Şekil 3.14. Simülasyonlarda kullanılan yaya modellemeleri	51
Şekil 3.15. Vücut tipi tanımlaması	52
Şekil 3.16. K-means algoritmasının akış diagramı	57
Şekil 4.1. Panic Simulator	58
Şekil 4.2. Tahliye senaryosu ve kişilerin çıkışlarını gösteren grafik.	59
Şekil 4.3. Arena editör	59
Şekil 4.4. Otomatikleştirme seçenekleri ve simülasyon ayarları	60
Şekil 4.5. Sabit değerler için tahliye süreleri	62
Şekil 4.6. Sabit değerlerle elde edilen tahliye süreleri	63
Şekil 4.7. Gerçek değerler için tahliye süreleri	64
Şekil 4.8. Gerçek değerler için tahliye süreleri	65
Şekil 4.9. Sabit ve gerçek verilerin tahliye süresinin karşılaştırması	65
Şekil 4.10. Simülasyon blok şeması	66
Şekil 4.11. Simülasyon arayüzü	67
Şekil 4.12. Simülasyon Arayüzü	67
Şekil 4.13. Çift yönlü akış senaryosunun simülasyon görüntüsü	68
Şekil 4.14. Tek yönlü köşe senaryosunun simülasyon görüntüsü	68
Şekil 4.15. Geçiş akışları senaryosunun simülasyon görüntüsü	69
Şekil 4.16. Odaları ve bir koridoru gösteren kat planının bir parçası	70
Şekil 4.17. Örnek plan	71
Şekil 4.18. Denemeler için kullanılan mimari plan	72
Şekil 4.19. Kat planı sınırlarını çıkarmak için gerekli adımlar	73
Şekil 4.20. Senaryo 1 denemelerinde kullanılan verilerin bir kısmı	74
Şekil 4.21. Senaryo 1 denemesinde çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon	75
Şekil 4.22. Senaryo 1 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları	76
Şekil 4.23. Senaryo 1 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları	76
Şekil 4.24. Senaryo 1 denemesinde çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon	77
Şekil 4.25. Senaryo 1 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları	77

Şekil 4.26. Senaryo 1 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları.....	78
Şekil 4.27. Senaryo 2 denemelerinde kullanılan verilerin bir kısmı	80
Şekil 4.28. Senaryo 2 denemesinde çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon	80
Şekil 4.29. Senaryo 2 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları.....	81
Şekil 4.30. Senaryo 2 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları.....	81
Şekil 4.31. Senaryo 2 denemesinde çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon.....	82
Şekil 4.32. Senaryo 2 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları.....	82
Şekil 4.33. Senaryo 2 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları.....	83
Şekil 4.34. Senaryo 3 antropometrik kümeleme	85
Şekil 4.35. Senaryo 3 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon.....	86
Şekil 4.36. Senaryo 3 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yolları.....	86
Şekil 4.37. Senaryo 3 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanları	87
Şekil 4.38. Senaryo 3 koşu hızına göre kümeleme.....	87
Şekil 4.39. Senaryo 3 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon.....	88
Şekil 4.40. Senaryo 3 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yolları.....	88
Şekil 4.41. Senaryo 3 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanları.....	89
Şekil 4.42. Senaryo 4 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon	91
Şekil 4.43. Senaryo 4 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yolları.....	92
Şekil 4.44. Senaryo 4 denemesinde antropometrik verileri göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanları	92
Şekil 4.45. Senaryo 4 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon	93
Şekil 4.46. Senaryo 4 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yollarının belirtilmesi.....	93
Şekil 4.47. Senaryo 4 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanlarının belirtilmesi	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi	5
Çizelge 3.1. Antropometrik ölçümlerin karşılıkları.....	20
Çizelge 3.2. Türk erkeklerinin antropometrik değerleri.....	21
Çizelge 3.3. Türk kadınlarının antropometrik değerleri	21
Çizelge 3.4. Sosyal kuvvet modeli hesaplamasındaki sabitler ve denklemleri	53
Çizelge 3.5. Antropometrik veriler ve ölçeklendirilmiş koşu hızları.....	55
Çizelge 4.1. Senaryo 1 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)	79
Çizelge 4.2. Senaryo 2 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)	84
Çizelge 4.3. Senaryo 3 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)	90
Çizelge 4.4. Senaryo 4 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)	95
Çizelge 4.5. Senaryoların sonuçları ve karşılaştırılması.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACO	Karınca Koloni Algoritması
CCTV	Kapalı Devre Televizyon
CNN	Evrişimli Sinir Ağı
LQF	En Hızlı Akış
max	Maksimum
min	Minimum
m ²	Metrekare
PSO	Parçacık Sürü Algoritması
PTS	Tercih Edilen Geçiş Hızı
SKM	Sosyal Kuvvet Modeli
sn	Saniye
SWE	Sığ Su Denklemleri
$\vec{n}_{\alpha\beta}$	β 'dan α 'ya normalleştirilmiş vektör
F_i	Bireyin çevresi ile etkileşimini temsil eden kuvvetlerin toplamı
F_{iW}	Duvarlara karşı olan kuvvet
F_i^d	İstenen yöne gitme kuvveti
F_{ij}	Diğer yayalara karşı kuvvet
A_α^1	Bölgesel alan yaya etkileşim gücü
A_α^2	Fiziksel yaya etkileşim gücü
$A_{\alpha\beta}$	Sınır etkileşim gücü
B_α^1	Bölgesel küre yaya etkileşim aralığı
B_α^2	Fiziksel yaya etkileşim aralığı
$B_{\alpha\beta}$	Sınır etkileşim aralığı
d_x	x ile olan mesafe
e_i^0	Vektörel yön
m_i	Bireyin kütlesi
r_α	Yaya Yarıçapı
v_i^0	Yaya istenilen hızı
λ_α	Yayaların anizotropik karakterinin potansiyeli
t	Zaman
φ	İtici kuvvet ve yaya yönü arasındaki açı
τ	Gevşeme süresi

1. GİRİŞ

Panik gergin bir duygudur. Yangın, deprem veya bir mekanın acil tahliye edilmesi gibi farklı uyaranlara maruz kalan bireyler huzursuz olur. Böyle bir durumda, birey yalnızca hayatta kalma içgüdüsü hakim olur ve başkalarını unuttur. Bazı insanların paniği doğrudan kriz ortamından kaynaklanırken, diğerleri duygusal bulaşma nedeniyle paniğe kapılır. Sonuç olarak, panik genellikle kontrolden çıkar ve hesaplanamaz sonuçlar doğurur. Bununla birlikte, her birey rasyonalite ile doğar. Birey ne kadar korkmuş olursa olsun, hayatta kalma içgüdüsü onu yavaş yavaş sakinleştirecektir. Yayalar, karmaşa içindeki düşünceleri netleştikten sonra en iyi kaçış yolunu bulmaya çalışacaktır. Yayaların kendilerine gelmeleri ne kadar az zaman alırsa, düzenli bir kaçış yapmaları da o kadar kolay olacaktır. Kuşkusuz, doğru rehberlik altında düzenli kaçış, tahliyenin en hızlı yoludur. Ancak tahliye tatbikatları düzenli bir kaçışı garanti edemez, çünkü insanlar tatbikat sırasında gerçekçi bir karmaşa ve panik hissetmeyecektir. Gerçek bir acil durumun tatbikatını üretmek oldukça nadirdir. (Shang vd., 2022).

Yaya kalabalıkları kırk yılı aşkın bir süredir ampirik olarak incelenmektedir. Uygulanan değerlendirme yöntemleri doğrudan gözlem, fotoğraflar ve hızlandırılmış filmlere dayanmaktadır. Davranışsal incelemelerin yanı sıra, bu çalışmaların temel amacı, yaya tesislerinin tasarım unsurlarını veya planlama kılavuzları geliştirmektir. Yaya kalabalıkları için kuyruk modelleri, geçiş matris modelleri ve stokastik modeller gibi birbiriyle kısmen ilişkili olan çok sayıda simülasyon modeli önerilmiştir. Buna ek olarak, yayaların rota seçme davranışına yönelik modeller de bulunmaktadır. Bu kavramların hiçbiri yaya kalabalığında meydana gelen kendi kendini organize etme etkilerini yeterince hesaba katmamaktadır. Bununla birlikte, bunlar, yaya akışlarının karşılıklı olarak bozulması nedeniyle beklenmedik engellemelere yol açabilir (Helbing vd., 2002).

Kalabalıkların dinamiği ve yönetimi oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. Eski Romalılar, 50.000 ile 80.000 kişi kapasiteli dönemin en büyük büyük

arenasını (Kolezyum) tasarladılar ve inşa etmişlerdir. Bu kadar büyük kalabalığın Kolezyum'a hızlı, kolay ve verimli bir şekilde girmesini, oturmasını ve çıkmasını sağlayan bir giriş, koridor ve merdiven sistemi geliştirmişlerdir. Kalabalık kontrolü sorununu çözmek için mimarlar farklı teknikler geliştirmişlerdir ve Kolezyum'u 10 dakikadan daha kısa bir sürede boşaltabilmişlerdir. Günümüzde kalabalık yönetimi, kalabalık dinamikleri, kalabalık psikolojisi ve personel eğitiminin kalabalığın güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunduğu bilimsel bir çalışma haline gelmiştir (Kabalan, 2016).

İnsan davranışının karmaşıklığı nedeni ile, acil bir durum sırasında ortaya çıkabilecek sorunları önceden tahmin gerekmektedir. Bu oldukça zor bir durumdur. Mimari tasarım önceden inşa edilebilseydi, testler yapılarak nitel ve nicel risk değerlendirmesi yapmak mümkün olurdu. Ne yazık ki her mimari planı olası her senaryo için test etmek mümkün değildir. Ayrıca insanların davranışlarını ve tepkilerini analiz etmek için onları gerçek acil durumlara maruz bırakmak da etik değildir. Bu durumla ilgili bir deyiş vardır: *"Tehlikeyi görmezden gelmek felaketi hak etmektir"*. Bilgisayar simülasyonları bu sorunu ele almanın bir yöntemidir. Geliştirilmiş çok sayıda ağ akışı, kalabalık ve çıkış analiz simülasyonları mevcuttur. Bu simülasyonların çoğu kullanışlıdır, ancak hiçbir simülasyon güvenlik mühendisliği amaçları için kapsamlı bir senaryo testi yelpazesi sunmamaktadır. Birçoğu insan trafiğini bir bütün olarak hareket eden tek tip bireylerden oluşan bloklar olarak ele almaktadır. Bazı simülasyonlar insan akışı modellerini tahmin etmek için akışkanlar dinamiği matematiğini kullanır. Bazı simülasyonlar ise temelde hatalı olan varsayımlara dayanmaktadır. Ayrıca, mevcut kılavuz ilkeler yanlış yorumlamaya yol açabilecek tutarsızlıklara sahiptir. Bunların vurgulanması ve alternatif bir metodoloji kullanılması gerekmektedir (Still, 2000).

Yaya hareketleri daha karmaşık bir davranış gösterdiğinden ve esasen iki boyutlu olduklarından ve belirli şeritlerle sınırlı olmadıklarından, yaya hareketlerini anlamak araştırmacılar için temel bir zorluktur. Çok sayıda karakter veya diğer varlıklar, karmaşık etkileşim ve gezinme nedeniyle tahmin

edilmesi zor olabilecek şekillerde davranırlar. Yayalar için herhangi bir tesis tasarlamak için yaya hareketini anlamak hayati önem taşımaktadır. Yayaların hareketinin anlaşılması, sağlanacak yaya tesislerinin, güvenlik, verimlilik, yayaların konforu ve tahliye süresi gibi hizmet seviyesinin hesaplanmasını da teşvik eder. Bunlar, tesislerin daha iyi tasarlanmasına ve kullanılabilirliğinin tahmin edilmesine yardımcı olur. Böyle bir kalabalığın simülasyonu, insanların verimli bir şekilde yönlendirilmesinin güvenlikleri için kritik önem taşıdığı veya ekonomik açıdan ilgi çekici olduğu binaların, trafik yollarının veya etkinliklerin planlanması için değerli bilgiler sağlayabilir (Maurhofer, 2016; Verma, 2021a).

Genel olarak, yaya tahliyesini modellemek için makroskobik ve mikroskobik modeller olmak üzere iki yaklaşım mevcuttur. Makroskobik modeller kalabalığın özelliklerini bir bütün olarak ele alır. Bireylere yakından bakmazlar ve kalabalığın toplam düzeydeki özellikleriyle (hız, yoğunluk ve kapasite) ilgilenirler. Bu kategoriye iki baskın yöntem uymaktadır. Birincisi süreklilik modelleri olarak bilinir ve akışkanlar dinamiğinde kullanılanlara benzer diferansiyel denklemler kullanarak kalabalığa bakmayı içerir. Mikroskobik modeller ise ağ modellerini ele alır; düğümler odalar, aralarındaki bağlantılar ise merdivenler, kapılar, sokaklardır. Yayalar, belirli stokastik kurallara göre iletilen ağ akışı olarak modellenir. Mikroskobik modeller, bireyler için davranış kuralları sağlayarak tüm kalabalığı modellemeye çalışır. Mikroskobik modelleme içinde üç ana modelleme seçeneği bulunur. Bunlar hücresel tabanlı, sosyal kuvvet tabanlı ve ajan tabanlı modellerdir. Bu modeller makroskobik modellere göre hesaplama maliyetinde ve doğrulukta daha yüksek olabilmektedirler (Thio, 2019).

Kalabalık paniğinin yaralanma ve/veya ölümle sonuçlandığı çok sayıda olay meydana geldiğinden, kalabalık güvenliği tüm dünyada önemli bir konu olarak ortaya çıkmıştır. Acil durum/panik koşulları altında kolektif insan dinamiklerini incelemenin belki de en kritik nedeni, açıklayıcı bir model geliştirmek ve doğrulamak için tamamlayıcı verilerin eksikliğidir. Bu veri eksikliği, büyük olasılıkla panik durumlarına odaklanan çok az sayıda modelin neden var olduğunu açıklayan önemli bir faktördür. Bu konu hakkındaki çalışmaların

büyük bir kısmı normal (panik olmayan) yaya dinamikleri veya normal tahliye süreçlerinin incelenmesiyle sınırlıdır. Mevcut birkaç kalabalık paniği modelini geliştiren araştırmacılar bile daha titiz modelleme çerçevelerine ve model tahminlerinin güvenilirliğini değerlendirecek yaklaşımların geliştirilmesine ihtiyaç olduğunu tespit etmiştir (Shiwakoti ve Sarvi, 2013).



Şekil 1.1. İzdiham sırasında tipik sorunlar (Helbing vd., 2005)

Çizelge 1.1’de meydana gelmiş bazı izdihamlar ve bunların sonuçlarında hayatlarını kaybeden, yaralanan insanların sayıları verilmiştir.

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi (World Crowd Disasters Web App V1, 2023)

Yıl	Yer	Konum	Ölen	Yaralanan	Neden
2012	Hindistan, Patna	Köprü	15	0	Köprüde izdiham.
2012	Mısır, Port Said	Stadyum	74	200	Port Said Stadyumu'nda Al Masry taraftarları, Al-Ahly taraftarlarına saldırdı, 74 kişinin hayatını kaybetmesine ve 200 kişinin yaralanmasına neden oldu.
2012	İspanya, Madrid	Madrid arenası	5	0	Madrid Arena'da bir Cadılar Bayramı partisinde yaşanan panik izdihamında 5 kız çocuğu hayatını kaybetti.
2012	Hindistan, Jaora	Stadyum	10	0	Çehlum'a katılmak için Hussain Tekri'nin ana girişinde toplanan büyük bir kalabalık, gece yarısından sonra girişlerini düzenlemek için polis tarafından geri itildiğinde izdiham yaşandı.
2012	Güney Afrika, johnsburg	Üniversite	1	17	Üniversitede izdiham.
2012	Hindistan, Junagadh	Tapınak	7	12	Fuar alanında dört tekerlekli bir aracın frenlerinin tutmadığının anlaşılması ardından paniğin ardından izdiham çıktı.
2012	Mısır, Kahire	Kilise	3	137	Kilisede izdiham.
2013	Hindistan, veri	Tapınak	115	100	İzdiham
2013	Nijerya, Anambra	Kilise	28	200	İzdiham
2013	Fildişi Sahili, Abican	Stadyum	60	200	Yeni Yıl havai fişek kutlaması sırasında Stade Félix Houphouët-Boigny'de 26'sı çocuk olmak üzere 60 kişi hayatını kaybetti ve 200'den fazla kişi yaralandı.
2013	Angola, Luanda	Stadyum	10	120	Yılbaşı nöbeti için aşırı kalabalık Estádio da Cidadela'ya girmeye çalışırken 10 kişi hayatını kaybetti, 120 kişi yaralandı.
2013	Hindistan, Allahabad	Tren istasyonu	36	39	Hindu festivali Kumbh Mela sırasında, tren istasyonunda bir kalabalık 36 kişi hayatını kaybetti ve 39 kişi yaralandı.
2013	Nijerya, Lagos	Kilise	4	13	Kilisede izdiham.
2013	Endonezya, Nabire, Papua	Stadyum	17	40	Yerel bir boks yarışmacısı kaybettikten sonra çıkan isyanda Kota Lama Spor Stadyumu'ndan kaçan 17 seyirci hayatını kaybetti.
2014	Çin, Yinçuan	Cami	14	10	Camide izdiham.
2014	Hindistan, Mumbai	Stadyum	18	40	Malabar'daki Dawoodi Bohra topluluğunun ruhani liderine veda esnasında yaşanan izdiham.

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi (World Crowd Disasters Web App V1, 2023) (Devam)

Yıl	Yer	Konum	Ölen	Yaralanan	Neden
2014	Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Kinşasa	Stadyum	15	24	TP Mazembe ile Vita Club arasındaki futbol maçında polisin kalabalığı kontrol etmek için göz yaşartıcı gaz fişegi atması sonucu en az 15 kişi hayatını kaybetti.
2014	Zimbabve, Kwekwe	Stadyum	11	40	Kazada 11 kişi hayatını kaybetti, 40 kişi yaralandı.
2014	Gine,Ratoma, Conakry	Plaj	34	48	Bir rap konserinin sonunda, katılımcıların küçük bir kapıdan mekândan ayrılmaya çalışması sonucu en az 34 kişi hayatını kaybetti.
2014	Pakistan, Multan Bölgesi	Stadyum	7	40	Meydanda yaşanan izdiham.
2014	Çin, Şangay	Meydan	36	49	The Bund'da yılbaşı kutlamaları sırasında meydana gelen trafik kazasında 36 kişi hayatını kaybetti, 49 kişi yaralandı.
2014	Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Kikwit	Stadyum	14	13	Kral Kester Emeneya için bir anma konseri sırasında, stadyumun elektriğinin kesilmesi ve çıkışta ezilme oluşması sonucu en az 14 kişi hayatını kaybetti.
2014	Hindistan, Patna	Şehir Meydanı	32	26	Gandhi Maidan'daki Dasehra kutlamalarından kısa bir süre sonra yaşanan izdiham.
2014	Nijerya, çeşitli şehirler	Stadyum	24	119	Nijerya Göçmenlik Bürosu'ndaki 4.556 pozisyondan birini almak için 520.000 kişinin başvurması sonucu izdiham yaşanmış, bazı kişilerin hayatlarını kaybetmesine ve yaralanmalara neden olmuştur.
2015	Afganistan, Talokan	Okul	15	42	Okul binasından çıkmak isteyenlerin merdivende oluşturduğu izdiham.
2015	Mısır, Cario	Stadyum	28	20	Futbol maçında çıkan kavgada 28 kişi hayatını kaybetti.
2015	Haiti, Port-au-Prince	Park	18	78	Shrove Salı festivali sırasında bir adama yüksek voltaj kablolarının çarpması sonucu meydana gelen olayda 16'dan fazla kişi hayatını kaybetti.
2015	Bangladeş, Mymensingh	Yerleşim alanı	25	50	Ücretsiz kıyafet alışverişinde meydana gelen trafik kazasında en az 25 kişi hayatını kaybetti, 50 kişi yaralandı.
2015	Polonya, Bydgoszcz	Üniversite	3	25	Teknoloji ve Yaşam Bilimleri Üniversitesi'ndeki bir parti sırasında yaşanan izdiham.
2015	Kamerun, Buea	Stadyum	1	10	Şifalar ve mucizeler için yapılan bir koşuda bir kişi hayatını kaybetti ve çok sayıda kişi yaralandı.

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi (World Crowd Disasters Web App V1, 2023) (Devam)

Yıl	Yer	Konum	Ölen	Yaralanan	Neden
2016	Hindistan, Varanasi	Köprü	24	60	Ezilme ve izdiham
2016	Nijerya, İkotun	Kilise	3	0	Özel bir şifa töreni sırasında kalabalığın öne çıkmasıyla oluşan izdiham.
2017	Çin, Puyang	Okul	2	20	Bir ilkokulda geçiş sırasında meydana gelen trafik kazasında 2 çocuk hayatını kaybetti, 20 kişi de yaralandı.
2017	Filipinler, Pasay, Metro Manila	Eğlence Kompleksi	40	70	Resorts World Manila kompleksinin tahliyesi sırasında hoşnutsuz bir silahlı kişinin içeri girip kumarhane masalarını ve kumar makinesi sandalyelerini ateşe vermesinin ardından ezilme sonucu 40 kişi hayatını kaybetti.
2017	İtalya, Torino	Meydan	3	1500	UEFA Şampiyonlar Ligi Finalinin gösterimi sırasında panik patlak verdiğinde 3 kişi hayatını kaybetti ve 1.500'den fazla kişi yaralandı.
2017	Senegal, Dakar	Stadyum	8	60	ABD Ouakam ile Stade de Mbour arasında oynanan Lig Kupası final maçının ardından polisin her iki taraftar grubuna da göz yaşartıcı bomba atması sonucu Demba Diop stadyumunda bir duvarın çökmesi sonucu 8 kişi hayatını kaybetti, 60 kişi ağır yaralandı.
2017	Bangladeş, Cox's Bazar	Mülteci Kampı	3	0	Balukhali mülteci kampında giysi ve gıda yardımı toplamaya çalışırken yaşanan izdiham.
2017	Hindistan, Bombay	Yaya Köprüsü	22	0	Parel ve Elphinstone karayolu istasyonları arasındaki bir yaya köprüsünde şiddetli yağmurların ardından meydana gelen ezilmede en az 22 kişi hayatını kaybetti, yüzlerce kişi yaralandı.
2017	Hindistan, Sümerce	Nehir Kıyısı	3	10	Bihar, Begusarai'deki Simaria Ghat'ta Kartik Purnima sırasında Ganj nehrinin kıyısında 3 kadın hayatını kaybetti, en az 10 kişi de yaralandı.
2017	Fas, Sidi Boulaalam	-	15	40	Yardım dağıtımı sırasında oluşan izdiham.
2017	Bangladeş, Çittagong	Sokak	10	50	ABM'nin eski belediye başkanı Mohiuddin Chowdhury'nin cenaze töreni sırasında insanlar eğimli bir geçitten Rima Toplum Merkezi'ne girmeye çalışırken en az 10 kişi hayatını kaybetti ve 50 kişi yaralandı.

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi (World Crowd Disasters Web App V1, 2023) (Devam)

Yıl	Yer	Konum	Ölen	Yaralanan	Neden
2017	Zambiya, Lusaka	Stadyum	8	0	Stadyumda yaşanan izdiham.
2017	Angola, Uige	Stadyum	17	61	Yeni Angola futbol sezonunun açılış maçı öncesinde oynanan maç öncesinde stadyuma girmeye çalışırken meydana gelen kazada en az 17 kişi hayatını kaybetti, en az 61 kişi yaralandı.
2017	Arjantin, Olavarria	Konser	2	20	Aşırı kalabalık bir konser sırasında iki kişi hayatını kaybetti ve bir düzine kişi daha yaralandı
2017	Malawi, Lilongwe	Stadyum	8	40	Ulusal bağımsızlık günü kutlamaları sırasında Bingu Ulusal Stadyumu'nda Nyasa Big Bullets ile Silver Strikers FC arasında oynanan maç öncesi stadyuma girmeye çalışırken meydana gelen kazada 7'si çocuk en az 8 kişi hayatını kaybetti, en az 40 kişi yaralandı.
2017	Güney Afrika, Nasrec, Johannesburg	Stadyum	2	17	Kaizer Chiefs ile Orlando Pirates arasındaki maç öncesi FNB Stadyumu'na girmeye çalışırken meydana gelen kazada 2 kişi hayatını kaybetti, 17 kişi yaralandı.
2018	Sierra Leone, Ouagadougou	Stadyum	6	0	Kalabalık, daha büyük iki girişi görmezden gelerek küçük bir girişten girmeye çalıştıklarında izdiham oluştu.
2018	Bangladeş, Satkanya	Okul	10	0	Bir çelik fabrikasının yetkilileri tarafından dağıtılan sari ve nakit paraları toplamak için yaklaşık 35.000 kişi medrese sahasında toplanmış ve izdihama neden olmuştur.
2018	Hindistan, Bihar	-	1	4	Bir ordu askere alma gezisi sırasında bekleyen kalabalık içeri girmek için kapılardan koştuğunda bir kişi hayatını kaybetti ve en az 4 kişi yaralandı.
2018	Sierra Leone	Bina	1	20	Julius Maada Bio'nun cumhurbaşkanlığı açılış sırasında, olay yerine yanlış geçitten girmeye çalışan bir grup seyircinin polis tarafından geri püskürtülerek ezilmeye neden olması sonucu bir kişi hayatını kaybetti ve 20 kişi yaralandı.
2018	Venezuela, Karakas	Kulüp	19	0	Kalabalık bir kulüpte göz yaşartıcı gaz fişeginin patlatılması sonucu izdihamda 19 kişi hayatını kaybetti.

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi (World Crowd Disasters Web App V1, 2023) (Devam)

Yıl	Yer	Konum	Ölen	Yaralanan	Neden
2018	Hindistan, Chennai	Bina	2	41	Rajaji Hall'da Tamil eski Başbakanı Nadu Muthuvel Karunanidhi'nin yattığı eyalete girerken en az iki kişi hayatını kaybetti, 41 kişi daha yaralandı.
2018	İtalya, Korinaldo	Kulüp	6	0	İçeriye biber gazı sıkıldıktan sonra konsere gidenlerin tıka basa dolu olan Lanterna Azzurra kulübünü terk etmeye çalışması sırasında meydana gelen olayda altı kişi hayatını kaybetti ve düzinelerce kişi yaralandı.
2018	Sierra Leone	Bina	1	20	Julius Maada Bio'nun cumhurbaşkanlığı açılışı sırasında, olay yerine yanlış geçitten girmeye çalışan bir grup seyircinin polis tarafından geri püskürtülerek ezilmeye neden olması sonucu bir kişi hayatını kaybetti ve 20 kişi yaralandı.
2018	Madagaskar, Antananarivo	Stadyum	1	40	2019 Afrika Uluslar Kupası Elemeleri'nde Senegal ile Madagaskar arasında oynanacak olan Mahamasina Belediye Stadi'nda bir grup seyircinin kapalı bir giriş kapısı ile gelen bir kalabalık arasında sıkışması sonucu bir kişi hayatını kaybetti, 40 kişi yaralandı.
2018	Angola, Luanda	Stadyum	5	7	Primeiro de Agosto ile TP Mazembe arasında oynanan 2018 CAF Şampiyonlar Ligi Çeyrek Final maçında beş kişi hayatını kaybetti, yedi kişi yaralandı.
2018	Güney Afrika, Pretorya	Kilise	3	0	Ön bilgilere göre, yağmurun başlamasıyla birlikte cemaatin kilise ayinine katılmak için gösteri alanında toplandığı, cemaatin birbirini itmeye başladığı ve ezilmenin meydana geldiği belirtildi.
2019	Hindistan, thuraiyur	Tapınak	7	10	Yüzlerce kişinin Muthiampalayam köyündeki 'Karuppasamy' (kırsal bir tanrı) tapınağında yıllık 'Chithira Pournami' festivalinin bir parçası olarak düzenlenen 'padikasu' (tapınak parası) dağıtım töreni için bir araya gelmesiyle izdiham meydana geldi.
2019	Hindistan, kancheepuram	Tapınak	4	0	Tamil Nadu başbakanı Edappadi K Palaniswami, izdiham beklenenden daha yüksek yaya sayısının yol açtığını söyledi.
2019	Hindistan, Lakhisarai	Tapınak	1	14	Kalabalık yönetiminin olmaması.
2019	Hindistan, Kalküta	Tapınak	2	20	Şiddetli yağmur nedeni ile izdiham yaşanması.
2019	Irak, Kerbela	Türbe	31	100	Yapısal başarısızlık.

Çizelge 1.1. 2012 sonrası yaşanan büyük kalabalık felaketlerinin bir kısım listesi (World Crowd Disasters Web App V1, 2023) (Devam)

Yıl	Yer	Konum	Ölen	Yaralanan	Neden
2019	Birleşik Krallık, Cookstown, Kuzey İrlanda	Sokak	3	0	St Patrick Günü'nde County Tyrone, The Greenvale Hotel'in önünde kuyruğa girerken ezilen 3 genç hayatını kaybetti.
2019	Cezayir, Cezayir	Stadyum	5	21	Cezayir rap konserinde izdiham en az beş kişi hayatını kaybetti.
2019	Venezuela, Karakas	Park	3	50	Konserde yaşanan izdiham.
2020	İran, Kirman	Sokak	59	213	Aşırı izdiham.
2020	Nijerya, Diffa	Sokak	20	0	Çoğu Nijeryalı mültecilere yiyecek, giyecek ve yemeklik yağ dağıtılırken 20 kişi hayatını kaybetti.
2020	Sri Lanka, Maligawatta	Sokak	3	0	Ramazan arifesinde çoğu mahalle sakinlerine para dağıtılırken 3 kişi hayatını kaybetti.
2020	Afganistan, Celalabad	Stadyum	15	0	COVID-19 salgını nedeniyle yedi aylık bir aradan sonra vize başvuruları yeniden başladığında binlerce insan Pakistan'a izin başvurusunda bulunmak için toplandıktan sonra, en az 15 kişi hayatını kaybetti (11 kadın) ve çok daha fazlası bir stadyumdaki kalabalıkta ezildi.
2021	İsrail, Meron Dağı	Tünel	44	150	Tünelde oluşan izdiham.
2021	ABD, Houston	Stadyum	10	25	Konser sırasında yaşanan izdiham.
2021	Liberya, Kakata	Stadyum	2	20	Dini tören sırasında yaşanan izdiham.
2021	Hindistan, Jammu	Tapınak	12	16	İzdiham.
2022	Liberya, Yeni Kru Kasabası	Kilise	29	0	Kilisede yaşanan izdiham.
2022	Hindistan, Goripalayam	Nehir Kıyısı	2	8	Dini tören sırasında yaşanan izdiham.
2022	Fas, Melilla	Sınır	18	0	İnsanlar demir çite tırmanmaya çalışırken can kaybı meydana gelmesi.
2022	Guatemala, Quetzaltenango	Sokak	9	20	Yerel basında çıkan haberlere göre, geleneksel "Xelafer" festivali sırasında bir konserin sonunda izdiham yaşandı.
2022	Güney Kore, Seul	Sokak	158	196	Cadılar Bayramı'nı kutlayan büyük bir kalabalık, bir gece hayatı bölgesindeki bir ara sokağa akın edince yaşanan izdiham.
2022	Hindistan, Vaishno Devi Tapınağı, Jammu ve Keşmir	Türbe	12	16	Bir Hindu tapınağında yeni yılı kutlamak için gelen yoğun bir insan akınının tetiklediği kazada 12 kişi hayatını kaybetti, 16 kişi yaralandı.

Yaya kalabalığı hareketinin modellenmesi, dünya çapında kalabalıklıkla ilgili olayların artması nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla kabul görmektedir. Yayaların güvenliğini garanti altına almak için, yaya kalabalığı davranışının ve hareketlerini yöneten kuralların doğru bir şekilde anlaşılması kritik öneme sahiptir. Yapılı çevrelerin mimarisi, özellikle de kaçış alanlarının tasarımı, kalabalıkların toplu davranışları üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Yaya kalabalığının hareketini modelleme ve simüle etme konusunda bazı girişimler olmasına rağmen, çeşitli yapılı çevrelerin ve geometrik özelliklerin kalabalık dinamikleri ve çok sayıda insanın toplu hareketi üzerindeki etkisinin anlaşılması konusunda çok az bilgi bulunmaktadır. Bilgi eksikliği temel olarak, insan kalabalığı davranışının farklı yönlerinin incelenebileceği ampirik verilerin sağlanmasındaki zorluklardan kaynaklanmaktadır (Shahhoseini and Sarvi, 2017).

Antropometri, insan vücudu boyutlarını inceleyen bir bilim dalıdır. İnsanların kullanabileceği fonksiyonel mekanik sistemlerin tasarımında kullanılır ve insan vücut ölçüleri ile hareket mekanizmasını da inceler (Gökmen, 2018). İnsan toplulukları arasındaki vücut ölçüleri ve oranlarında oldukça fazla farklılık bulunur. Bu farklılıklar nedeni ile antropometrik değerler tespit edilip toplumun kendi standardı oluşturulmalıdır. Genetik ve çevresel etmenler bu farklılıkların oluşmasında etkilidir. Bu farklılıklardan yola çıkarak alet, makine, yapı ve donanımlar nüfusun özelliklerine göre uygun olarak tasarlanır ve üretilir (Güleç vd., 2009).

Antropometrik veriler tasarımların birçok insan için uyumlu olmasını sağlamaktadır. Toplular bu nedenle farklılık gösterebilmektedir. Dünya’da insanların vücutlarını oluşturan kol, bacak, baş vb. uzuvları arasında ölçüm farklılıklarının araştırmaları yapılmaktadır. Örnek olarak bir alet ABD’li erkek nüfusunun %90’ına uygun tasarlanmışsa, bu alet %90 oranında Alman’a, %80 Fransız’a, %65 İtalyan’a, %45 Japon’a, %25 oranında Taylandlı’ya ve %10 oranında Vietnamlı’ya uygundur. Buradan da anlaşılacağı üzere mimari alanda ve tasarım alanında ölçü farklarının belirlenmesi ve bu farklılıklara göre tasarımların yapılması oldukça önemlidir. Antropometrik veriler kent

tasarımından, mekan uygulamaları ve donanım üretimine kadar birçok alanda tasarımcılara yön vermektedir (Sipahi ve Ertaş, 2019).

Bu tez çalışmasında insanların antropometrik özelliklerinden yararlanılarak mimari bir yapıdan kaçış senaryosu iyileştirmesi yapılmıştır. Binaya giren her kişinin ölçüldüğü varsayıp antropometrik ölçüleri alındıktan sonra kapladığı alan hesaplanmış, kaçış hızı oranlanmış ve acil bir durum oluştuğunda hangi kaçış senaryosunun çalışacağı simule edilmiştir. Bu kaçış hesaplanırken literatürde yer alan sosyal kuvvet modeli uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada mimari plan dışarıdan alınabilmekte ve değiştirilebilmektedir. Binaya giren kişilerin antropometrik ölçümlerine göre hızları orantılanmakta ve bulundukları konumlara göre kümelenerek çıkış ya da çıkışlara yönlendirilmeleri ölçülmekte ve iyileştirilmektedir. Böylelikle kişiselleştirilmiş kaçış senaryosu oluşturulabilmektedir. Aynı zamanda simülasyonda alınan veriler ile acil durum oluştuğunda tahliye yolunun açık olması ve bu alanın engellerden arındırılması konusunda da bilgi ve tavsiye vermektedir. Acil durumda kullanılabilecek yollardan en fazla geçilecek güzergahı göstermekte ve mekanın buna göre engellerden arındırılmasında yardımcı olmaktadır.

Tez çalışması giriş ile birlikte beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde tez çalışması kapsamında yer alan kaçış senaryosu algoritmaları, antropometrik çalışmalara ait literatüre sunulan çalışmalar verilmiştir. Üçüncü bölümde antropometrik verilerin elde edilme süreci ve sosyal kuvvet modelinin uygulanması ve uyarlanması, kümeleme algoritmaları ve kaçış senaryosuna uygulanması hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Beşinci bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Antropometri Çalışmaları

Imani ve Soltanizadeh (2016), yaptıkları çalışmalarında Microsoft Kinect sensor kullanarak insanların antropometrik özelliklerini çıkarmışlardır. Bunu kısa süreli olarak kişilerin kimliklendirilmeleri ile ilişkilendirmişlerdir. Sonuçların iyi olduğuna karar verip farklı çalışmalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sipahi ve Ertaş (2019), Türkiye’de antropometrik verileri bilgisayar teknolojisi aracılığıyla elde edebilme adına dünyadaki antropometrik araştırmaları incelemişlerdir. Dünya üzerinde birçok ülkede geliştirilmeye de devam eden Caesar projesinin; farklı ölçüm tekniklerini kullanabilen esnek bir yapısının olması sebebi ile Türkiye’nin rahatlıkla katılabileceği veya kendisine model alabileceği bir proje olarak belirtmişlerdir. Oluşturulacak veri tabanının mimarlık alanında da faydalı olabileceğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca Caesar projesinde kullanılan yaş aralıkları, ölçüm tekniği, ölçü çeşit sayısı, örneklem sayısı ve örneklem alanlarının seçimleri incelenmiş; İncelenen veriler neden sonuç ilişkisi içerisinde irdelenerek Türkiye’de uygulanabilirlik durumunu ortaya koymuşlardır.

Erkan (2020), yaptığı çalışmada, antropometrik ölçümleri hızlı ve kolay bir şekilde elde etmek için geliştirdiği ölçüm sistemi ile uygulamalar yapmıştır. Omuz genişliği ile vücut derinliği ile değerlerine odaklanarak %98,8 doğruluk oranı ile 15.000 kişinin antropometrik verilerini çıkarmıştır. Aynı çalışmada, ortaya çıkan bu veriler ile kişilerin antropometrik özelliklerinin belirlenip tasarım metodolojilerinin geliştirileceği ve bu geliştirilen metodolojiler ile de insan hayatını kolaylaştıracağı belirtilmiştir.

2.2. Sosyal Kuvvet Modeli ve Tahliye Optimizasyonu Çalışmaları

Helbing vd. (2005), kalabalık alanlardaki tahliyeleri hızlandırmak, akış modellerini stabilize etmek ve onları daha akıcı hale getirmek için uygun şekilde yerleştirilmiş “engeller” kullanmayı önermişlerdir. Uzun bekleme sürelerini ve şok dalgalarını önlemek için de çıkış yollarının çaplarının artırılmasını önermişlerdir. Sosyal kuvvet modelinin simülasyonu ile havaalanı terminallerinde, tren istasyonlarında ve stadyumlarda meydana gelecek tahliyeleri önceden değerlendirmenin mümkün hala geleceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda geniş kentsel alanlarda yaya akışlarının da simüle edilebilir olduğunu göstermişlerdir.

Ekizoğlu (2009), yaptığı çalışmasında acil durum tahliye çalışmalarını araştırmış, tahliye simülasyonları ve farklı tahliye simülasyonu yaklaşımlarını incelemiştir. Simulex isimli simülasyon yazılımı üzerinde model geliştirmiştir ve bir fakülte binasının tahliye durumunu inceleyerek tahliye planı önermiştir.

Fang vd. (2011), bir stadyumdaki tahliye ağını hiyerarşik yönlendirilmiş bir ağ olarak tanımlamış ve bu hiyerarşik yönlendirilmiş ağ temelinde tahliye rotalama problemini çözmek için çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı önermiştir. Problemi çözmek içinse modifiye edilmiş bir karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) algoritması tasarlayıp, MATLAB yazılım ortamında uygulamışlardır.

Shiwakoti ve Sarvi (2013), çalışmalarında belirli bir kaçış alanı içinde uygun mimari ayarlamalar yapmanın, kalabalığın dışarı akışını artıracak şekilde toplu hareket modellerini değiştirip değiştirmeyeceğini test etmek için biyolojik olarak esinlenilmiş bir yaklaşım kullanarak karıncalar üzerinde test etmişlerdir. Daha sonra ölçek büyüterek insan senaryosuna benzetmişlerdir.

Ye vd. (2014), binalardaki acil durum tahliye yolu problemlerini ele almak için, ACO algoritmasına dayalı geliştirilmiş bir hücresel otomat modeli önermişlerdir. Önerilen model, hücresel otomatların komşu hareket kurallarını dikkate alır ve ihracat seçim kuralı, karınca kolonisi optimizasyon algoritmasının sezgisel

bilgisi olarak kullanılır, yaya yolu seçiminin davranışını daha gerçekçi bir şekilde yansıtır. Model ile yaya tahliye sürecini simüle etmişlerdir, sonuçlar önerilen modelin temel karınca kolonisi algoritmasından daha kısa tahliye süresi elde edebileceğini ve tahliye planlama problemini çözmek için uygun olduğunu göstermişlerdir.

Turgut (2017), çalışmasında acil durumda yayaların sergiledikleri davranışların, sürü davranışına benzer olmasından yola çıkarak yaya gruplarını bir arada tutmayı sağlamak amacıyla farklı bir sosyal kuvvet modeli geliştirmiştir. Yayalar açısından yoğun grupların oluşumunu önlemek için geliştirmeler yapmıştır.

Tanaka vd. (2017), yaptıkları çalışmalarında ağ akışı ve derin öğrenme algoritmalarını kullanarak tahliye planlaması için pratik bir yöntem oluşturmuşlardır. LQF (En hızlı Akış) algoritmasının sonuçlarını normal zamanda kullanarak bir CNN eğitmişlerdir ve acil durumlarda tahliye tamamlanma süresini iyi öğrenilmiş CNN tarafından tahmin etmişlerdir.

Chen vd. (2018), çalışmalarında aynı anda acil kurtarma ve acil tahliye yöntemleri için çift yönlü bir iyileştirme sunmuşlardır. Üç modelleme oluşturmuşlardır; ilki, karayolu ağı ile acil durum kurtarma ve tahliyenin zamana göre değişen yeri arasındaki etkileşimi simüle etmek için dinamik bir çevre modeli, ikincisi, acil kurtarma yollarını ve acil tahliye yollarını aynı anda optimize etmek için iki yönlü bir rota planlama modeli, son olarak da potansiyel yol çatışmalarını önlemek için akıllı bir engellerden kaçınma modelidir. Tüm modellerin aynı anda acil durumlarda tahliye ve acil kurtarmayı iyileştirilmesi için kullanmışlardır.

Li vd. (2018), çalışmalarında uygun tahliye planları tasarlamak için optimal bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin hedefleri arasında her bir tahliye edilenin toplam tahliye süresini ve seyahat süresini en aza indirmek, trafik sıkışıklıklarından kaçınmak ve farklı çıkışlar arasındaki trafik yüklerini dengeleme gibi problemlere farklı yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Her bir tahliye grubunun kalkış zamanını, varış yerini ve rotasını belirlemek için bir dizi

algoritma da geliştirilmiştir. Bu algoritmaları desteklemek için zaman genişletilmiş bir ağ modeli sunmuşlardır.

Yu vd. (2018), çalışmalarında tahliye entropi parçacık sürü optimizasyonu, kalabalık tahliye modelini önererek, tahliye verimliliğini artırmaya çalışmışlardır. Modelde ayrıca bireysel panik psikolojisinin etkisini ve tahliyede liderlerin varlığını da dikkat çekmişlerdir.

Shin vd. (2019), eşzamanlı tahliye ve giriş planlamasını ele alan matematiksel modeller ve sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Eşzamanlı tahliye ve giriş planlaması için, kritik bir zaman dilimi içinde tahliye ve cevaplar için en uygun yolları sağlamak üzere ayrık zamanlı dinamik ağ akış modeline dayanan dört tip matematiksel model geliştirmişlerdir. Matematiksel modeller insanların belirli alanlara yoğunlaşmasını en aza indirmişlerdir. Sezgisel algoritma ile de analiz ederek tahliye planlaması ile ilgili alanda kullanmışlardır.

Peng vd. (2019), yaptıkları çalışmalarında, büyük kamu binalarında tahliye planlaması için sinir ağlarına dayalı dinamik bir yol planlama yaklaşımı önermişlerdir. Binadaki tüm kişilerin birbirleri ile etkileşimini gösteren bir algoritma geliştirmişlerdir. Bunu tahliye rehberliği ile gerçekleştirmişlerdir.

Fahad vd. (2019), yaptıkları çalışmalarında kasırga gibi aşırı fırtına olayları sırasında etkili bir gerçek zamanlı tahliye stratejisi geliştirmek, acil durum planlaması ve müdahale topluluğu için hidrodinamik modelleme ve trafik mikro simülasyonundan elde edilen sonuçları birleştiren gerçek zamanlı tahliye planlaması için bir yapı geliştirmişlerdir. Bir fırtına olayı sırasında tahliye yollarının planlanması için taşkın derinliği ve hızı ile ilgili bilgi elde etmek için derinlik ortalamalı 2D sıg su denklemlerine (SWE) dayanan ince ölçekli bir hidrodinamik model geliştirmişlerdir. Daha sonra, bir olay sırasında tahliye yolları boyunca trafik hızlarına ilişkin hidrodinamik modelden zamana bağlı bilgiler kullanılarak bir trafik mikro simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Uyguladıkları optimizasyon tekniği ile acil durum tahliyesini iyileştirmişlerdir.

Li vd. (2019), çalışmalarında tahliye planlaması amacıyla tesisler veya binaların alt alanları için hizmet seviyesini tasarlamak için yeni bir teknik sunmuşlardır. Bina ağlarının tahliye performansını iyileştirmek için tesisler için hizmet seviyesini belirlemek üzere genetik bir algoritma optimizasyon yaklaşımı kullanmışlardır.

Chen vd. (2020), tahliyedeki binada sosyal kuvvetlerin etkileşimi üzerine bir hücrel otomat modeli geliştirmiş, burada sosyal kuvvetlerin tahliye süresi üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri simüle edilmiş ve analiz etmişlerdir. Model deneysel veriler kullanılarak doğrulanmıştır. İnsanlar arasındaki kümelenme eğilimi, tahliye edilenlerin sayısına, bina büyüklüğüne, çıkışların sayısına ve insanların dağılımına bakılmaksızın tahliye süresini her zaman artırdığını tespit etmişlerdir ve bu nedenle kümelenme eğiliminden her zaman kaçınılması gerektiğini önermişlerdir.

Gao vd. (2020), kaçış yolunun uzunluğunu en aza indirmek ve tahliye süresini azaltmak için bina tahliye kapısının en uygun konumunu otomatik olarak üretmek için kısıtlamaya dayalı bir tasarım yaklaşımı sunmuşlardır. Tahliye mesafesini en aza indiren optimal kapı konumlarını üretmek için alan kısıtlamaları ve tasarım kısıtlamaları içeren bir kısıtlamaya dayalı model önermişlerdir.

Yıldız ve Çağdaş (2021), yaptıkları çalışmalarında kullanıcıların kentsel mekâna nasıl dahil olduklarını araştırmışlar ve kullanıcı hareketinin benzetimi için bir model geliştirmişlerdir ve kentsel alan bileşenleri ile kullanıcıların hareketi arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir.

Xiao ve Li (2022), çalışmalarında bulanık çıkarım sistemi ile yayaların bakış açılarından tasarlanmış ve sınırlı görüş altında bulanık tahliye modeli oluşturmuşlardır. Tahliye süreleri ve tahliye süreçlerinin karşılaştırılması simülasyonlar aracılığıyla analiz etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışması kapsamında araştırılan antropometrik verilerin elde edilmesi, sosyal kuvvet modeli ve matematiksel ifadesi, sosyal kuvvet modeli ile yapılan çalışmalar, iyileştirmeler, tahliye senaryolarının uygulanması, tahliye için kullanılan standart uygulamalar ve elde edilen veri setleri ile iyileştirilmiş tahliye senaryosu ve performans değerlendirmesinde kullanılan yöntemler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

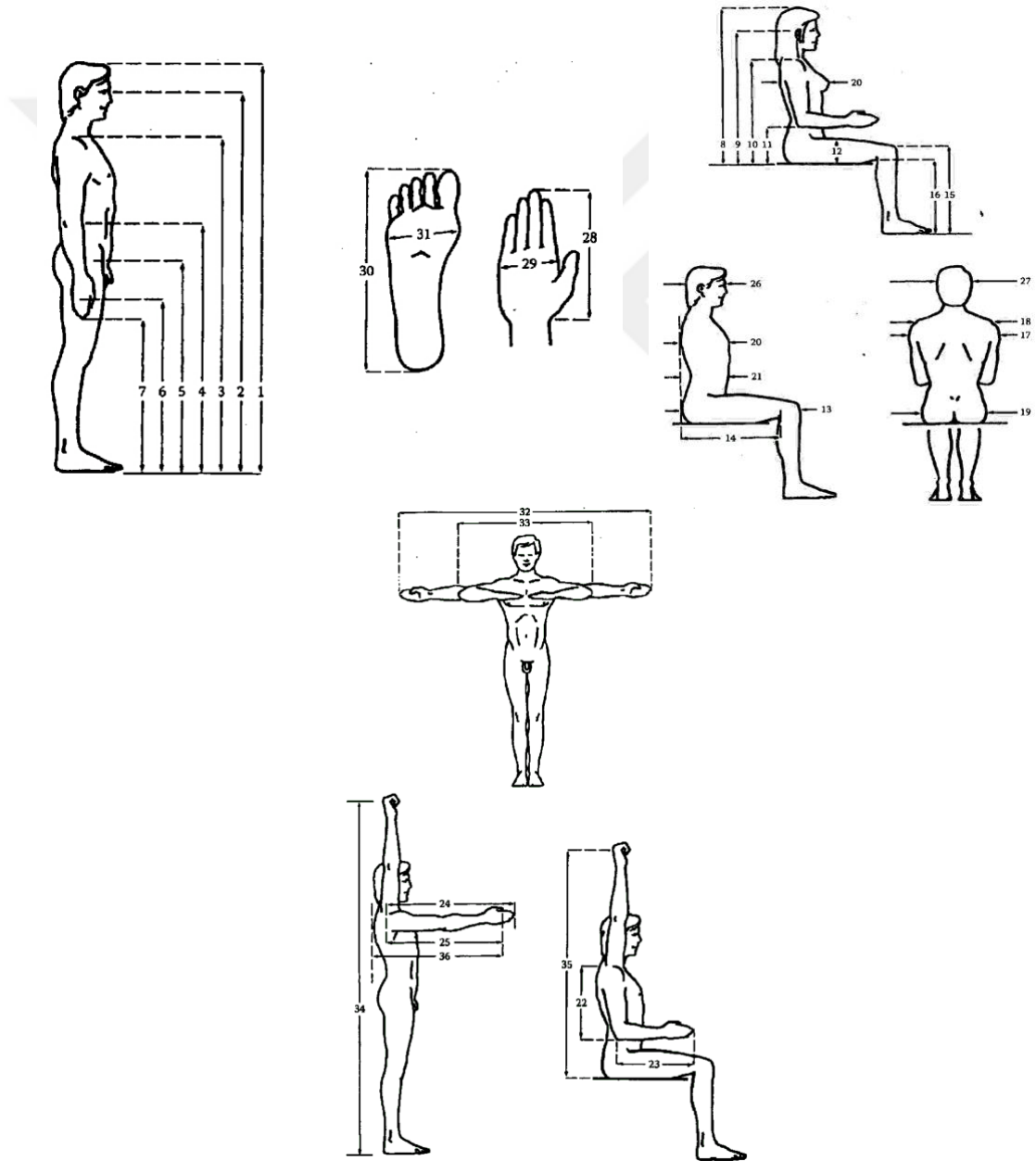
3.1. Antropometri

Antropometri insan bedeninin şeklini sayısal olarak ifade etmeye yarayan bir tekniktir, fiziksel ve morfolojik özelliklerini belirlemeye yarar. Bireyler veya gruplar arasında yaş, cinsiyet, vücut yapısı, coğrafi bölge ve meslek grupları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan farklılıkları saptayarak, tasarımcılara daha sağlıklı tasarım yapma olanağı sağlayan disiplinler arası bir bilim dalıdır. Antropometri, tasarlanacak sisteme veya mekâna ilişkin, kullanıcının ihtiyaç duyduğu donanımın, aygıtların ve yakın çevresinin tasarlanmasında etkin olan, hareketli veya hareketsiz durumda vücut ölçülerinin bilimsel ölçüm yöntemleri kullanılarak saptanmasını amaçlar (Kılıç, 2011). Antropometrik veriler, tasarımların insanlar için uygun ve uyumlu olmasını sağlar. Üretilen ürünlerin farklı ülkelerdeki insanların kullanımı için değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Bu nedenle mimarlık ve tasarım alanında toplumların ölçü farklılıklarının belirlenmesi ve bu farklılıklara göre tasarım ve üretim yapılması oldukça önemlidir (Sipahi ve Ertaş, 2019). Mekânsal kullanım kolaylıkları sağlamasının ötesinde optimal tasarım kuramları ve evrensel tasarım metodolojileri oluşturmaya olanak tanır (Erkan, 2020).

Antropometrik ölçümler, farklı bilim dallarında kullanılmaktadır. Antropologlar insanların vücut yapısının zaman içindeki değişimini incelerken, bir doktor hastalıkların seyrini, insanların yaşam döngüsündeki gelişimini incelemek amacıyla ölçüm yapar. Bir mühendis ise insan vücudunu bir mekanizma olarak ele alır ve hareket durumunda veya statik gerilim altında kas zorlanmalarını

azaltmak, hareket rahatlığı sağlamak gibi konularla ilgilenir. Mühendisler tasarım standartlarına uygunluğu ve insan hareketlerinin rahatlığı gibi konulara önem vererek, çalışmalarında antropometrik verileri değerlendirirler. Antropometrik verilerin toplanması oldukça uzun zaman alan ve uzmanlık gerektiren bir çalışmadır (Kocabaş Akay, 2017).

Antropometride 300'e yakın ölçüm olmasına rağmen, ergonomistler bunlardan 36 tanesini kullanır. Şekil 3.1 antropometrik ölçümleri göstermektedir, Çizelge 3.1'de ise ölçümlerin karşılıkları verilmiştir (İşeri, 2008).



Şekil 3.1. Antropometrik ölçümler (İşeri, 2008)

Çizelge 3.1. Antropometrik ölçümlerin karşılıkları (İşeri, 2008)

No	Vücut Ölçüsü	No	Vücut Ölçüsü	No	Vücut Ölçüsü	No	Vücut Ölçüsü
1	Boy	10	Oturuş Omuz Yüksekliği	19	Kalça Genişliği	28	El uzunluğu
2	Göz Yüksekliği	11	Oturuş Dirsek Yüksekliği	20	Göğüs Derinliği	29	El Genişliği
3	Omuz Yüksekliği	12	Uyluk Kalınlığı	21	Karın Derinliği	30	Ayak Uzunluğu
4	Dirsek Yüksekliği	13	Kalça Diz Boyu	22	Omuz-Dirsek Uzunluğu	31	Ayak Genişliği
5	Kalça Yüksekliği	14	Kalça popliteal yüksekliği	23	Dirsek-Parmak ucu Uzunluğu	32	Kol Genişliği
6	Eklem Yüksekliği	15	Diz Yüksekliği	24	Üst uzuv uzunluğu	33	Dirsek Aralığı
7	Parmak ucu Yüksekliği	16	Popliteal Yüksekliği	25	Omuz kavrama uzunluğu	34	Dikey tutuş erişimi (Ayakta)
8	Oturma Yüksekliği	17	Omuz Genişliği (bideltoid)	26	Kafa uzunluğu	35	Dikey tutuş erişimi (Oturarak)
9	Oturuş Göz Yüksekliği	18	Omuz Genişliği(biacromial)	27	Kafa Genişliği	36	İleri kavrama mesafesi

3.1.1. Türkiye’de Yapılan Antropometri Çalışmaları

Ülkemizde antropometri ile ilgili ilk çalışma 1917 yılında Nafi Atuf (Kansu) tarafından yapılmış ve Muallim dergisinde yayınlanmıştır. 1925 yılından itibaren de birçok yöresel ve bölgesel nitelikli çalışmalar yapılmıştır. Kapsamlı ilk çalışma ise birçok kurumun katılımı ve 64 bin yetişkin kadın ve erkek üzerinde 1937 yılında gerçekleşmiştir. 1960’lı yıllarda 20-40 yaş arası 1838 kadın üzerinde yapılan çalışmadan sonra, NATO çalışması kapsamında 915 Türk askeri üzerinde antropometrik çalışmalar yapılmıştır.

2004-2005 yılları arasında Güleç ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 2100 kadın ve erkek üzerinde gerçekleştirilmiş, yetişkin bireylerin antropometrik boyutları ortaya konmuş ve ileriye yönelik alet, makine, yapı, donanım gibi ürünlerin tasarımı ile sağlık ve spor alanlarında kullanılabilecek veri tabanı oluşturulmaya çalışılmıştır. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 bu çalışmaya yönelik ölçümleri göstermektedir (Güleç vd., 2009).

Çizelge 3.2. Türk erkeklerinin antropometrik değerleri (genişlik ve derinlik), tanımlayıcı istatistikleri ve seçilmiş persentil değerleri (mm) (Güleç vd., 2009)

	Ort.	SS.	5.	25.	50.	75.	95.
Baş Genişliği	155.68	7.82	143.00	151.00	155.00	160.00	168.00
Omuz Genişliği	393.65	22.98	355.00	378.00	395.00	408.00	430.00
Göğüs Genişliği	293.48	24.17	257.00	276.00	293.00	307.00	335.00
Dirsek Genişliği	68.10	5.24	60.00	65.00	68.00	72.00	76.45
El Genişliği	86.79	5.09	78.00	83.00	87.00	90.00	95.00
Kalça Genişliği	312.05	25.53	270.00	295.00	312.00	329.00	352.00
Diz Genişliği	98.20	7.63	86.00	93.00	98.00	104.00	111.00
Ayak Genişliği	102.77	6.84	93.00	98.00	102.00	107.00	114.00
Göğüs Derinliği	212.53	22.99	179.00	197.00	210.00	227.00	255.00

Çizelge 3.3. Türk kadınlarının antropometrik değerleri (genişlik ve derinlik), tanımlayıcı istatistikleri ve seçilmiş persentil değerleri (mm) (Güleç vd., 2009).

	Ort.	SS.	5.	25.	50.	75.	95.
Baş Genişliği	148.50	7.67	138.00	146.00	152.00	157.00	166.00
Omuz Genişliği	361.10	23.01	334.00	359.00	376.00	397.00	439.50
Göğüs Genişliği	269.12	27.96	236.00	262.00	280.50	300.00	330.00
Dirsek Genişliği	59.56	6.39	52.00	59.00	64.00	69.00	75.00
El Genişliği	76.34	5.28	70.00	76.00	81.00	87.00	93.00
Kalça Genişliği	309.49	31.42	266.00	293.00	311.00	328.00	357.00
Diz Genişliği	88.05	9.53	76.00	86.00	94.00	100.00	109.00
Ayak Genişliği	91.70	7.23	84.00	90.00	97.00	104.00	111.00
Göğüs Derinliği	203.90	30.16	170.00	190.00	205.00	223.00	256.00

3.2. Antropometrik Verilerin Elde Edilmesi

Antropometrik ölçümlerden anlamlı veriler elde etmek için güvenilir ve tekrarlanabilir ölçümler gereklidir. Bu nedenle, klinisyenler doğruluk için düzenli olarak kontrol edilen iyi kalibre edilmiş, kaliteli ekipmanların kullanılmasını sağlamalıdır. Antropometrik ölçümler elde etmek için gereken tipik ekipman listesi şunları içerir:

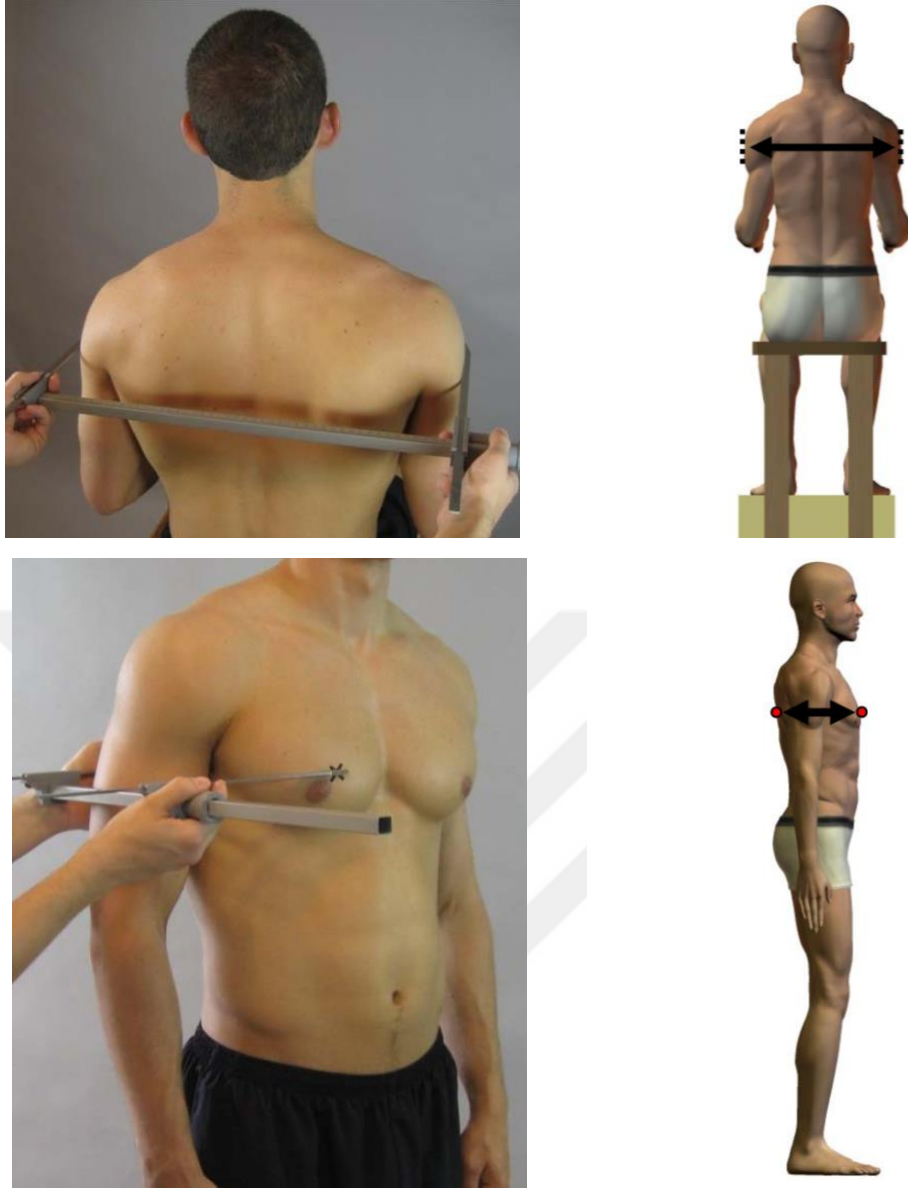
- Tartı
- Kalibrasyon ağırlıkları
- Stadyometre
- Kumpas
- Kaliperler
- Gerilemez mezura
- Yaslanmış uzunluğu ölçmek için infantometre (Casadei ve Kiel, 2022)

Geleneksel manuel yapılan antropometrik ölçüm kaliperler nispeten yüksek doğruluk ile hassas ölçümler yapabilmektedir. Ancak güvenilirlik, doğruluk ve taşınabilir olma konusunda dikkatli olmak gerekmektedir. Şekil 3.2 bir çalışmada kullanılan ölçüm aletlerini göstermektedir (Lee vd., 2019).



Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılabilen dijital kumpas ve metre (Lee vd., 2019)

Geleneksel ölçme yöntemlerinde kullanılan tekniklerden ve ölçüm cihazlarından bazıları da Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



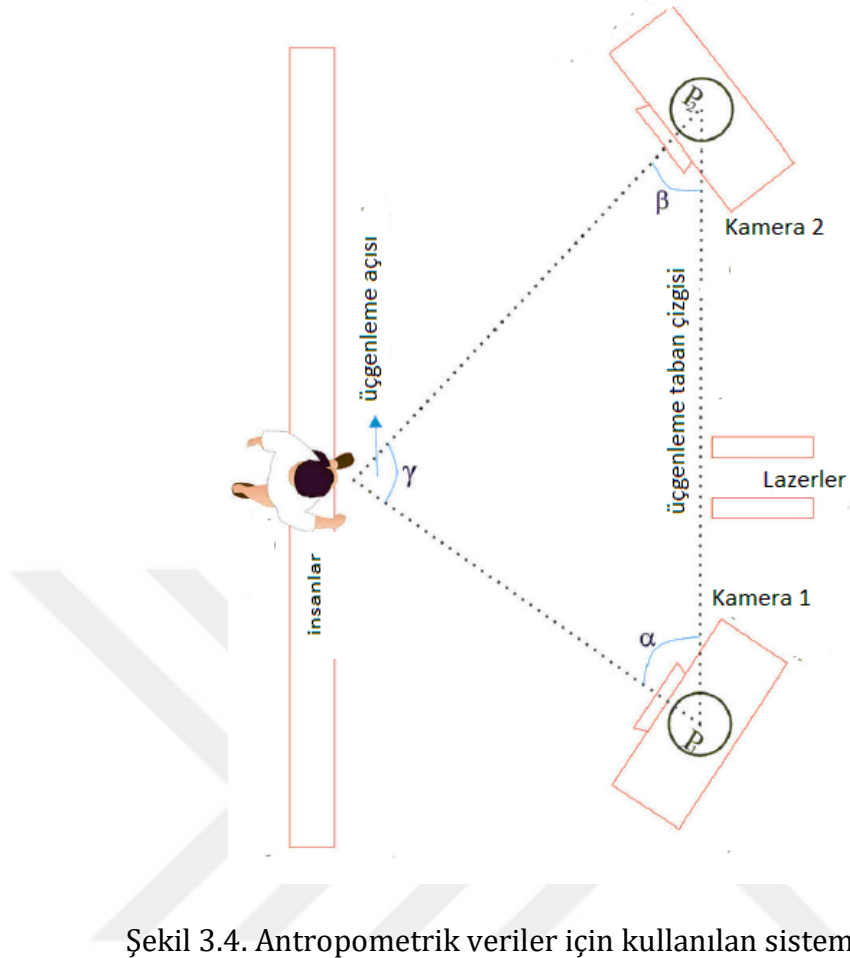
Şekil 3.3. Omuz genişliği ve göğüs derinliği ölçümü (Hotzman vd., 2011)

Bireylerin ve popülasyonların genotip ve fenotip frekanslarına odaklanarak insanların metrik boyutlarını incelemek, farklı grupların benzersiz antropometrik özelliklerini ortaya çıkarır. Bu nedenle antropometrik saha çalışmaları her ülke için büyük önem ve değer taşımaktadır. Antropometrik verilerin doğruluğu, özellikle insanlarla doğrudan ilgili olan tasarım, mühendislik ve sağlık disiplinlerindeki birçok bilim insanı için çok önemlidir. Bu nedenle, antropometrik verilerin doğru ölçümü bu disiplinlerin düzgün işleyişi için değerlidir. Yanlış antropometrik verilerle ortaya çıkabilecek sorunlar nedeni ile ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (1995) bir raporunda mevcut antropometrik verilerin güncellenmesinin önemi vurgulanmıştır.

Antropometrik verilerin tasarım, tekstil, tıp, ergonomi ve mühendislik gibi birçok disiplinde önemli olduğunu göstermektedir; dolayısıyla antropometrik verilerin belirlenmesi ve güncellenmesi diğer disiplinlere de fayda sağlamaktadır. İnsan vücudunun farklı noktalarından ölçülen bazı spesifik veriler (boyun-baş mesafesi, parmak uzunluğu, ayak bileği mesafesi vb.) mekânsal tasarıma dolaylı olarak katkıda bulunur. Ayrıca son yıllarda birçok çalışmanın odak noktası haline gelen binalar için acil kaçış sistemleri güncellendikçe yeni tasarım ilkelerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla özellikle koridorlardan veya kapılardan geçerken bireylerin omuz genişlikleri dikkate alınmalıdır (Erkan, 2020).

İnsanların doğru ölçümlerini elde etmek geleneksel olarak çok emek yoğun bir görev olmuştur. En büyük zorluklardan biri, insan boyutlarındaki yüksek değişkenliğin büyük örneklerin ölçülmesini gerektirmesi ve her katılımcının ölçülmesinin önemli miktarda zaman alabilmesidir (Robinson ve Parkinson, 2013).

Antropometrik ölçümler için literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu tez için kullanılacak yöntem Erkan 2020’de yapılan çalışma olacaktır. Çalışmada, antropometrik ölçümleri hızlı ve kolay bir şekilde elde etmek için bir sistem geliştirilmiş ve ölçüm sistemi ile uygulamalar yapmıştır. Ölçülen antropometrik veriler bu sistem ile alınmıştır. Aynı çalışmada, ortaya çıkan bu veriler ile kişilerin antropometrik özelliklerinin belirlenip tasarım metodolojilerinin geliştirileceği ve bu geliştirilen metodolojiler ile de insan hayatını kolaylaştıracağı belirtilmiştir. Şekil 3.4 sistemi göstermektedir.



Şekil 3.4. Antropometrik veriler için kullanılan sistem (Erkan, 2020)

Kullanıcıların içinden geçebileceği cihazdaki açıklık 300 cm genişliğinde ve 250 cm yüksekliğindedir. Ölçüm cihazı, farklı boyutlardaki içi boş çelik bileşenler kullanılarak üretilmiştir. "Archway" adı verilen bu sistem ile yardımcı bir sistem çalışmaktadır. Yardımcı sistem iki kamera ve lazer içermektedir. Kemerin altından geçen insanlar lazer demeti ile ölçülmektedir ve %98,8 gibi bir doğruluk oranına sahiptir (Erkan, 2020). Şekil 3.5 çalışan sistemi göstermektedir.

etmek zor ve riskli bir durumdur İnsan davranışlarının tam olarak öngörülemez ve düzensiz olmasının nedeni, matematiksel modellere insan psikolojisi faktörünün eklenemiyor olmasıdır. Yayaların bireysel ve topluluk içindeki hareketleri incelendiğinde farklılık göstermektedir. Bu nedenle kalabalıkların dinamiği, lineer olmayan matematik denklemleriyle formüleleştirilmektedir (Ünal, 2011).

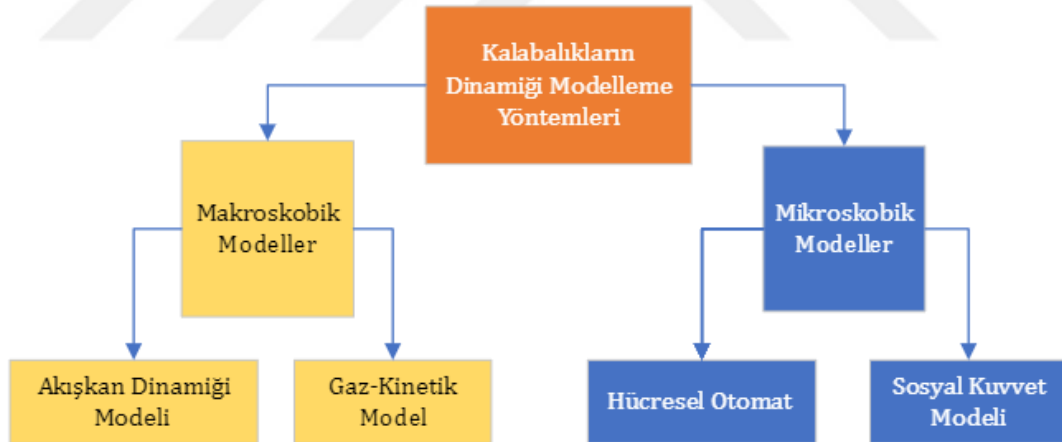
Yaya kalabalığının benzer gaz-kinetik veya akışkanlar gibi davrandığını varsayılmıştır. Bununla birlikte, yayalar için gerçekçi gaz-kinetik veya akışkan-dinamik teori, onların özel etkileşimlerine (yani kaçınma ve yavaşlama manevralarına) bağlı düzeltmeler içermelidir. Ancak bu düzeltmeler momentum ve enerji korunumuna uymamaktadır. Böyle bir teori gerçekte formüle edilebilmesine rağmen, pratik uygulamalar için bireysel yaya hareketinin doğrudan simülasyonu daha uygundur. Mevcut araştırmalar yaya kalabalıklarının mikrosimülasyonuna odaklanmaktadır, bu da yaya akışlarının ayrık, "tanecikli" yapısıyla ilgili hacimsel etkilerin hariç tutulmasıyla koordinasyonsuzluğun dikkate alınmasına izin vermektedir. Bu bağlamda, bireysel yaya dinamiklerinin davranışsal kuvvet modeli geliştirilmiştir (Helbing vd., 2002).

Normal bir durumda kamusal alanlardaki yaya davranışları ile kitlesel toplantılardaki yaya davranışları önemli ölçüde farklıdır. Kitlesel toplanma, belirli bir amaç için belirli bir yerde belirli bir sayıdan fazla kişinin belirli bir süre için bir araya gelmesidir. Kitlesel toplanma etkinlikleri, kalabalık üzerinde ciddi bir felaket yaratma konusunda muazzam bir potansiyele sahiptir. Yüksek kalabalık yoğunluğu, kısıtlı erişim noktaları, zayıf kalabalık kontrolü, alanlar ve faaliyetler hakkında tam bilgi eksikliğinin bir karışımı felaket durumlarına yol açabilir. Kitlesel toplantılar festivaller, dini törenler, spor etkinlikleri, konserler ve siyasi mitingler olabilir (Gayathri vd., 2017).

3.3.1. Kalabalık Dinamiklerinin Modellenmesi

Yaya davranışlarının simülasyonu son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Kalabalıkların davranışlarını ve hareketlerini simüle etme yeteneği, gerçek hayattaki deneylerden sadece daha ucuz değil, aynı zamanda daha az tehlikelidir. Sonuçlar, bina, uçak ve gemi yapımcıları; büyük kamu yapıları veya kitlesel etkinliklerin işletmecileri veya toplu taşıma sistemleri sağlayıcıları gibi çeşitli kurum ve şirketlerin ilgisini çekmektedir. Bu tür sistem modelleri, tahliye senaryolarının önceden simüle edilmesine, mevcut olası sorunların keşfedilmesine ve planların optimize edilmesine olanak tanır (Zsifkovits ve Pham, 2016).

Tahliye zamanlarını tahmin etmek için birçok geliştirilmiş model bulunmaktadır. Genel olarak makroskobik ve mikroskobik modeller altında incelenebilmektedir (Baysal Türkölmez ve Güneş, 2016). Şekil 3.6 modelleme sınıflandırmasını göstermektedir.



Şekil 3.6. Kalabalıkların dinamiği modelleme yöntemleri

3.3.1.1. Makroskobik Modeller

Bireylerin bireysel olarak değil tüm yayaların hareketini inceler ve bütün olarak sisteme odaklanır (Baysal Türkölmez ve Güneş, 2016). Makroskobik modeller akış hızı, genişlikler, nüfus vb. gibi senaryo verilerini kullanır ve bir grup matematiksel formül kullanarak senaryonun sonuçlarını küresel olarak hesaplar. Bireylerin yer değiştirmesi sürekli bir akış olarak kabul edilir ve akışın

davranışının büyük ölçekli olduğu ve bireylerin karar verme sürecinde basitleştirilebilecek önemli bir değişiklik olmadığı varsayılır. Makroskobik modeller kalabalıklardaki olayların nedenlerini derinlemesine analiz etmeye izin vermez. Bunu analiz etmek için mikroskobik modeller kullanılmaktadır (Millà, 2016).

3.3.1.1.1. Akışkan Dinamiği Modeli (Fluid Dynamics Model)

Yayaların hareketleri ile ilgili Le Roy F. Henderson 1971 yılında yaptığı çalışmada, bu hareketi akışkanlar dinamiği ile açıklamaya çalışmıştır. Navier-Stokes denklemlerini yayaların akışına uyarlamıştır. Bu denklem akışkan hızının basınç, sıcaklık, viskozite ve yoğunluk ile ilişkisi olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım kabul görmüş ve trafik akışının modellenmesinde kullanılmıştır. Ancak insan kalabalıkları normal durumda akışkanlar gibi davranırken aşırı yoğunluk karşısında kum gibi tanecikli bir yapı gibi akmaktadır (Ünal, 2011).

Hareketin sürekli bir yüzey üzerinde gerçekleştiği ve herhangi bir t zamanında kalabalıktaki tüm N bireyin konumu (x, y) ve hızı (V_x, V_y) ile tanımlandığı varsayılır. Ayrıca, eğer kalabalık homojen ise, içindeki her parçacık aynı kütleye ve belirli bir modda aynı hız bileşenleri olasılığına sahip olacaktır. (Homojenlik kavramı moleküler sistemlerdeki kimyasal saflık kavramına benzer). Bir parçacık iki ya da daha fazla kişiden oluşuyorsa bileşik, yalnızca bir kişiden oluşuyorsa asal olduğu söylenir. Bileşik parçacıklar, insanlar arasında bazılarının çiftler halinde veya daha büyük gruplar halinde yürümesine, birlikte koşmasına veya başka bir şekilde gruplar halinde ilişki kurmasına neden olan sosyal bağların varlığına atfedilir. Parçacıkların bileşik ya da asal olmalarına bakılmaksızın, konum ve hız koordinatlarında istatistiksel olarak birbirlerinden bağımsız oldukları varsayılmaktadır. Herhangi bir parçacığın hızının da konumu ile ilişkisiz olduğu varsayılmaktadır. Son olarak, kalabalığın dengede olduğu ve ortalama özelliklerinin durağan ergodik süreçler dikkate alınarak elde edilebileceği varsayılmaktadır. Özellikle, kalabalığın kendisi -dengedeki asal parçacıkların homojen bir koleksiyonu- herhangi bir bireyin istatistiksel topluluğu olarak ele alınabilir. Bu nedenle ortalama özellikleri, aynı anda tüm insanların topluluk ortalamalarının veya yalnızca birkaç kişinin ya da yalnızca

bir kişinin faz ortalamalarının yeterli bir süre boyunca ölçülmesiyle bulunabilir (Henderson, 1971).

Genel olarak, akışkan simülasyonunun amacı, bir akışkanın dinamiklerine doğru bir şekilde yaklaşımdır. Navier-Stokes, sıkıştırılamaz bir akışkanda momentumun korunumunu Denklem 3.1'e göre tanımlamıştır.

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{G} \quad (3.1)$$

Burada μ akışkanın viskozitesidir ve v (hız), ρ (yoğunluk) ve p (basınç) zaman içinde değişen değerlere sahip sürekli alanlardır. Denklem, basınçtaki farklılıkların neden olduğu basınç kuvvetine $-\nabla p$, hızdaki dalgalanmaların neden olduğu viskozite kuvvetine $\mu \nabla^2 v$ ve G yerçekimi gibi dış kuvvetlere bağlıdır (Van Toll vd., 2021).

Henderson, gaz-kinetik ve akışkan dinamiği modellerini yaya kalabalıklarının deneysel verileriyle karşılaştıran ilk kişidir. Ancak onun çalışması sıradan akışkanlar için geleneksel teoriden başlamış ve momentum ve enerjinin korunumunun yerine getirildiğini varsaymıştır (Helbing, 1998).

3.3.1.1.2. Gaz-Kinetik Model (Gas-Kinetic Model)

Bu modellerin temeli, Hoogendoorn'un çok boyutlu bir uzaydaki genel trafik akışlarının dinamiklerini konveksiyon, hızlanma, sürekli niteliklerin uyarlanması ve olay tabanlı ve koşul tabanlı sürekli olmayan süreçlerin etkisi temelinde tanımlayan genel çok boyutlu gaz-kinetik modelidir. Yaya faz-uzay yoğunluğunun dinamiklerini $\rho(t, \underline{x}, \underline{v}, w)$ tanımlayan gaz-kinetik denklemi:

$$\partial_t \rho + \overbrace{\partial_{x_1}(\rho v_1) + \partial_{x_2}(\rho v_2)}^{(I)} + \overbrace{\partial_{v_1}(\rho A_1) + \partial_{v_2}(\rho A_2)}^{(II)} = \overbrace{(\partial_t \rho)_{\text{event}}^+ + (\partial_t \rho)_{\text{event}}^-}^{(IV)} \quad (3.2)$$

Burada kısmi türevler için kısaltılmış gösterim kullanılmıştır, örneğin; $\partial_t \rho = \partial \rho / \partial t$. Terim I boylamsal ve yanal konveksiyondan kaynaklanan

değişiklikleri, Terim II ivmelenmenin etkilerini ve Terim IV etkileşim olaylarının dinamiklerini göstermektedir (Hoogendoorn ve Bovy, 2000).

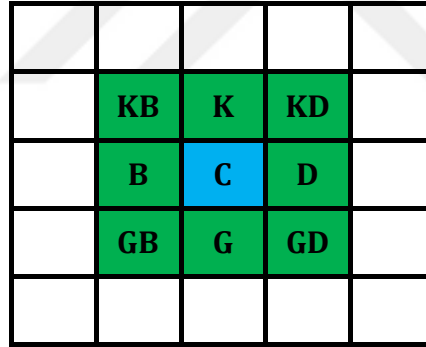
Model ayrıca, özellikle yayanın mekânsal gereksinimleri ve farklı yaya sınıfları gibi çeşitli modellerle ilgili faktörlere de değinmektedir. Gaz-Kinetik modeli geleneksel olarak sistemdeki parçacıkların sonsuz derecede küçük olduğunu varsayar, ancak her bir yayanın kapladığı alan miktarı baskın öneme sahip olduğundan bu, yaya akışlarının modellenmesi için geçerli bir varsayım değildir. Yaya sınıflandırması da Henderson'ın değindiği aynı sorundur, çünkü cinsiyet, yaş veya diğer demografik özellikler sistemdeki bireylerin davranışlarını etkileyebilir. Hoogendoorn ve Bovy daha sonra formüle edilmiş problemi Monte Carlo yöntemini kullanarak tek yönlü, çift yönlü ve kesişen yaya akışları gibi çeşitli basit durumlarda çözmektedir. Elde ettikleri sonuçlar makuldür ve beklenen hız-yoğunluk ilişkilerini niteliksel olarak yeniden üretmektedir (Parry, 2007).

3.3.1.2. Mikroskobik Modeller

Mikroskobik modeller yayaların davranışları, bireysel kararları ve kalabalıktaki diğer yayalarla etkileşimine odaklanır. Mikroskobik modellerden en fazla kullanılanları sosyal kuvvet modeli ve hücresel otomasyon modelidir. Bunlar arasındaki temel fark sosyal kuvvetler modeli sürekli, hücresel otomasyon modeli kesikli uzayda oluşturulmaktadır (Baysal Türkölmez ve Güneş, 2016). Mikroskobik modeller, yayaların istenen hedefe doğru hareket ederken çevre ve diğer etmenlerle olan bireysel etkileşimlerini dikkate alır. Uzayda ve zamanda etkileşime girebilen ve karar verebilen, kuralları olan bireysel ajanlar kullanırlar. Bu modeller, makroskobik modellere kıyasla hareket etme ve karar verme açısından daha gerçekçi bir yaklaşım sunar, ancak bu gerçekçilik artışında, daha ayrıntılı yapılandırma nedeniyle performansta bir düşüş olur ve bu nedenle karmaşık bir sistem haline gelir (Millà, 2016).

3.3.1.2.1. Hücresel Otomat (Cellular Automata)

Hücresel otomatlar (HO), ayrık matematiksel modelin tipik bir örneğidir. Zaman, mekân ve durumdan oluşan dinamik bir sistemdir. Günümüzde HO modeli yaya akışı, trafik akışı ve benzeri alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır. Yapısal olarak, HO modeli hücre, hücre alanı, komşuluk ve evrimsel kuraldan oluşur. Bir hücredeki değişkenlerin değeri, her zaman adımında komşu hücrelerdeki değişkenlerin değerleri tarafından belirlenir. Modelde dikkate alınan komşuluk, merkezi hücreyi çevreleyen sekiz hücreyi içeren Moore'un komşuluğudur. Şekil 3.7, yayanın (C) sekiz yöne (K:Kuzey, KB: Kuzeybatı, KD:Kuzeydoğu, G:Güney, GB: Güneybatı, GD: Güneydoğu, B:Batı, D:Doğu) hareket edebileceğini ve bir zaman adımında bitişik boş bir hücreye ulaşabileceğini göstermektedir. Temel yerel kurala göre, herhangi bir hücre durumu eş zamanlı olarak değişir, her hücrenin $t+1$ anındaki durumuna kendisi ve sonlu komşu hücrelerinin t anındaki durumu karar verir (Ye vd., 2014).

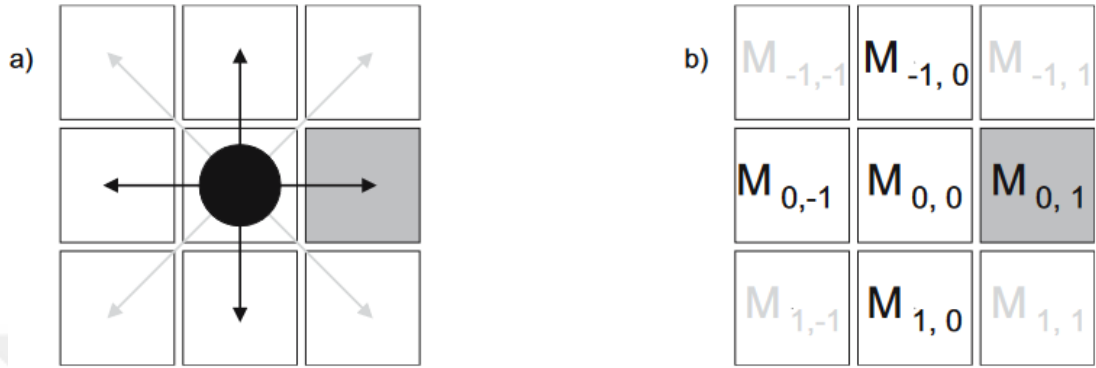


Şekil 3.7. Moore komşuluğu

Bir hücresel otomatın temel amacı, uzun menzilli etkileşimlerin etkilerini hafıza ile yerel etkileşimlere dönüştürmektir. Bu, bir yayanın hedefine doğru ilerlerken bazı izler bırakacağı ve bunun yardımıyla yaklaşan yayaların yolunun değiştirilebileceği anlamına gelir. Buna dayanarak geçiş olasılığı tanımlanır ve geçiş olasılığına göre yayanın hareketine izin verilir (Verma, 2021a).

Simülasyon ortamı, tek bir kişinin minimum alan gereksinimleri göz önünde bulundurularak 0,4 m x 0,4 m alana sahip kare hücrelere bölünmüştür. Bir hücre iki farklı duruma sahiptir "serbest" zemin durumu ve üzerinde bir kişi

veya bir engel varsa "dolu" durumundadır. Bir kişi çevresindeki tüm hücelere Şekil 3.8(a)'da gösterildiği gibi hareket edebilir. Diğer hücelere hareket, Şekil 3.8(b)'de gösterilen tercih matrisi $M_{q,p}$ 'de saklanan geçiş olasılığına bağlıdır (Waldau, 2007).



Şekil 3.8. (a) Hücre komşuluğu ve (b) tercih matrisi (Waldau, 2007).

Yolcu hızının boylamasına (p) ve enlemesine (q) bileşenlerinin bağımsız olduğu varsayılırsa, $M_{0,l}(M^{\text{hori.}})$ 'ye hareket, σ^2 varyansı ve μ beklenen değeri ile hesaplanan ortak geçiş olasılığı h tarafından belirlenir. Denklem 3.3'te açıklanmıştır.

$$\begin{aligned}
 h_{-1} &= \frac{1}{2}(\sigma^2 + \mu^2 - \mu) \mu_q = 0 \quad 0 \leq \mu_p \leq 1 \\
 h_0 &= 1 - (\sigma^2 + \mu^2) \quad 0 \leq \sigma_q^2 \leq 1 \\
 h_{+1} &= \frac{1}{2}(\sigma^2 + \mu^2 + \mu) \frac{1}{4} \left(|\mu_p| - \frac{1}{2} \right)^2 \leq \sigma_p^2 \leq 1 - |\mu_p|^2
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Diyagonal hareketin özel durumunu göz önünde bulundurmak için $M^{\text{hori.}}$ ve $M^{\text{hori.}}$ 'nin 45 derece döndürülmüş bir kopyası olan $M^{\text{diag.}}$ 'in süperpozisyonu ile yöne bağlı bir hareket oluşturulabilmektedir. Denklem 3.4 aşağıda verilmiştir (Waldau, 2007).

$$M_{q,p} = [1 - \lambda]M_{q,p}^{\text{hori.}} + \lambda M_{q,p}^{\text{diag.}} \quad \lambda = \tan \alpha \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ \tag{3.4}$$

3.3.1.2.2. Sosyal Kuvvet Modeli (Social Force Model)

Sosyal kuvvet modeli Helbing tarafından 2000 yılında ortaya atılmış ve tahliye simülasyonlarında yaygın olarak uygulanmıştır (Zhu vd., 2020). Panik halinde bir odadan yayaların tahliye edilmesi sorunu, ortak yaşamda bariz bir öneme sahiptir. Son yıllarda, yaya dinamiklerini simüle eden bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Bu yazılımlar paniğin yaya davranışı üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Bir darboğazdan geçen yaya akışı ve T-şekilli bir kanaldaki tıkanma önceden önyargılı rasgele yürüyenlerin kafes-gaz modeli kullanılarak incelenmiştir. Basit etkileşimlere sahip daha genel kendinden tahrikli parçacık sistemleri Vicsek, Albano ve Czirók tarafından incelenmiştir. Acil bir durumda dar bir kapıdan tahliye, henüz tam olarak anlaşılamayan karmaşık bir sorundur ve bir çok dramatik engelleme etkilerine neden olabilir. Tahliye dinamiklerinin anlaşılması, daha konforlu ve güvenli yaya tesislerinin tasarlanmasına olanak sağlayacaktır. Paniği hesaba katan bir model, Helbing ve diğerleri tarafından önerilen "Sosyal Kuvvet Modeli"dir. Bu model, her yayanın üç tür kuvvetten etkilendiğini varsayar: Granüler veya temas kuvvetleri (dağıtıcı etkileşim), Sosyal kuvvetler (koruyucu ve uzun menzilli etkileşim) ve Arzu kuvvetleri (yayaları kendi kendine hareket ettiren). Ayrıca, bu model, her bireyin fiziksel parametrelerini (kütle, omuz genişliği, istenen hız, hedef, vb.) sabitlemeye olanak tanıyan "yaya sıvısının" ayrık doğasını göz önünde bulundurur. Gerçek ölçekli etkileşim kuvvetleri, özellikle bir tuğla duvarı aşağı itebilecek veya kalabalığın içindeki insanları boğabilecek yüksek basınçlara neden olabilecek temas kuvvetleri hesaplanabilir. Bu özellikler, hücresel otomat yaklaşımları veya sürekli sıvı yaklaşımları kullanan geleneksel modeller ile uygun şekilde dikkate alınamaz (Waldau, 2007).

Literatürden de anlaşılacağı üzere kalabalık modellerinin sınıflandırılmasında evrensel kurallar olmadığı görülebilir. Bu çalışmada kalabalıkların dinamiklerini modellemek için sosyal kuvvet modelinden yararlanılacaktır. Simulasyon modelleri ve gerekli hesaplamalar sosyal kuvvet modeline göre yapılmıştır. Çalışmanın kalan kısmında sosyal kuvvet modeli ve uygulamaları yer alacaktır.

3.4. Sosyal Kuvvet Modeli ve Uygulanması

Kalabalık davranışlarını simüle etmek için Helbing ve arkadaşları kalabalık paniğini ayrıntılı olarak analiz etmiş ve sosyal kuvvet modelini ortaya koymuştur. Yaya akışının ayrıklığını göz önünde bulunduran bu model, yaya akışının dinamik özelliğini bireyler arasındaki etkileşim gücüne bağlamaktadır. Doğuşundan bu yana sosyal kuvvet modeli sürekli olarak optimize edilmiştir. Bununla birlikte ne orijinal ne de optimize edilmiş modeller boy ve güç gibi bireysel faktörleri dikkate almamaktadır (Li vd., 2019).

Sosyal kuvvet modeli, sürekli bir uzayda her bir bireyin hareketini tahmin eden mikroskobik bir kalabalık dinamiği modelidir. Newton yasalarını kullanarak kişilerin çevre ile etkileşiminin fiziksel bir temsildir. Bu yaklaşımda, bir bireyin (i) pozisyonu x_i hız vektörü v_i 'ye göre t zamanda değişir;

$$\frac{dx_i}{dt} = v_i \quad (3.5)$$

Bireyin hızı, Denklem 3.6'daki gibi yazılabilen bir Newton yasası tarafından yönetilir;

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = F_i \quad (3.6)$$

Burada m_i bireyin kütlesidir. F_i bireyin çevresi ile etkileşimini temsil eden kuvvetlerin toplamıdır. Denklem 3.7'de F_i^d istenen yöne, F_{ij} diğer yayalara, F_{iw} duvarlara karşı olan "etkileşim kuvvetleri" olarak adlandırılır.

$$F_i = F_i^d + \sum_{j \neq i} F_{ij} + \sum_W F_{iw} \quad (3.7)$$

Sosyal Kuvvet Modeli, karmaşık bir ortamda hareket eden her bir kişinin yörüngesini ve hızını tahmin etmek için kullanılır. Model, her bir kişinin diğer insanlardan veya çevredeki engellerden etkilenme veya itilme gibi hareketlerini etkileyen sosyal kuvvetlere tabi olduğunu varsayar. Bu kuvvetler bireyler

arasındaki mesafe ve yönün bir fonksiyonu olarak modellenmekte ve kütle, hız ve gevşeme süresi gibi çeşitli parametrelere göre ayarlanabilmektedir (Marlow vd., 2021).

Kuvvetler ve denklemleri ayrıntılı olarak incelemek gerekirse Denklem 3.8'deki gibi gösterilebilir;

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\mathcal{T}_i} + \sum_{j \neq i} f_{ij} + \sum_W f_{iW} \quad (3.8)$$

Burada m_i kütleli, N sayıda yayanın her biri (i), belirli istenilen hız ile v_i^0 , belirli bir yöne e_i^0 , yayanın gerçek hızı v_i ile $\mathcal{T}_i$ belirli karakteristik zaman içinde ilerler. Aynı zamanda yayalardan j ve duvarlardan W hıza bağlı bir mesafe tutmaya çalışır. "Etkileşim kuvvetleri" f_{ij} ve f_{iW} ile modellenenir. t'ye bağlı ivme de Denklem 3.8 ile hesaplanır. Pozisyonun değişimi $r_i(t)$, hız formülü $v_i(t) = dr_i/dt$ ile hesaplanır.

i ve j olan iki yayanın birbirinden uzak durma konusundaki psikolojik eğilimi itici bir etkileşim gücü olarak, $A_i \exp [(r_{ij} - d_{ij})/B_i] n_{ij}$ formülünden hesaplanır. A_i ve B_i burada sabittir. $d_{ij} = \|r_i - r_j\|$ yayaların kütle merkezleri arasındaki mesafeyi belirtir ve $n_{ij} = (n_{ij}^1, n_{ij}^2) = (r_i - r_j)/d_{ij}$ yaya j'den i'ye işaret eden normalleştirilmiş vektördür.

Yayalar hareket ederken, d_{ij} değeri r_i ve r_j yarıçap değerlerinin toplamından $r_{ij} = (r_i + r_j)$ küçük olması halinde birbirlerine değmeğe başlarlar. Bu durumda, panikleyen kalabalıklardaki belirli etkileri anlamak için gerekli olan, tanecikli etkileşimlerden esinlenen iki ek kuvvet olduğunu varsayılır. Birincisi "vücut kuvveti" olarak adlandırılan, $k(r_{ij} - d_{ij})n_{ij}$ kuvvettir. Diğer ise vücut sıkışmasına karşı koyan "kayan sürtünme kuvveti" olarak adlandırılır ve $\kappa(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}^t t_{ij}$ ile ifade edilir ve yaya i j'ye yaklaşırsa göreceli teğetsel hareketi engeller. Denklem 3.9'da bu kuvvetler gösterilmiştir. Burada $t_{ij} = (-n_{ij}^2, n_{ij}^1)$ teğet yönü ifade eder. $\Delta v_{ji}^t = (v_j - v_i) \cdot t_{ij}$ formülü teğetsel hız farkını, k ve κ

büyük sabitleri temsil eder. Yayalar birbirine dokunmuyorsa ($d_{ij} > r_{ij}$), $g(x)$ fonksiyonu sıfırdır, aksi takdirde x argümanına eşittir.

$$f_{ij} = \{A_i \exp [(r_{ij} - d_{ij})/B_i] + kg(r_{ij} - d_{ij})\}n_{ij} + \kappa g(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}^t t_{ij} \quad (3.9)$$

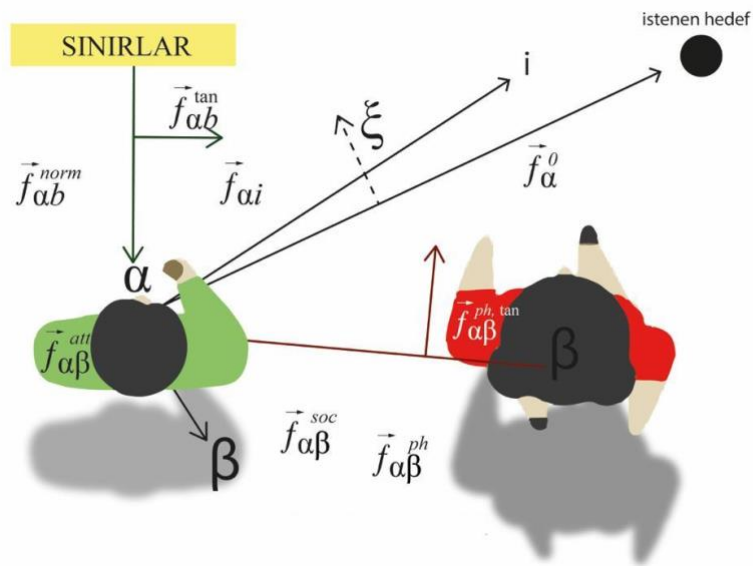
Duvarlarla etkileşim de aynı şekilde ele alınmaktadır. d_{iW} , W duvarına olan mesafeyi göstermektedir. n_{iW} duvara dik olan yönü, t_{iW} duvara teğet olan yönü gösterir. duvarla ilgili etkileşim kuvveti Denklem 3.10'da gösterilmiştir (Helbing vd., 2000a).

$$f_{iW} = \{A_i \exp [(r_i - d_{iW})/B_i] + kg(r_i - d_{iW})\}n_{iW} - \kappa g(r_i - d_{iW})(v_i \cdot t_{iW})t_{iW} \quad (3.10)$$

Sosyal kuvvet modeli, yaya hareketi sırasında meydana gelen çeşitli doğal olayları kapsayabilmektedir:

- Yayalar normalde en hızlı rotayı seçerler.
- Yayalar, durum, cinsiyet, yaş, engeller, çevre vb. dikkate alınarak bireysel bir hız ile hareket ederler. Hız Gauss dağılımlıdır.
- Yayalar diğer yayalarla aralarında belirli bir mesafe bırakırlar. Bu mesafe yaya yoğunluğuna ve yürüme hızına bağlıdır (Apel, 2004).

Şekil 3.9 sosyal kuvvet modeli üzerindeki kuvvetleri göstermektedir.



Şekil 3.9. Sosyal kuvvet modeli kuvvetlerinin temsili gösterimi (Apel, 2004)

3.4.1. İtici Kuvvet

Sosyal kuvvet, yaya konumları ve hızlarının tümü t zamanının fonksiyonudur.

İtici kuvvet;

- i) Her yayanın hedefinin yönüne doğru istenen bir v_0 hızıyla yürüme niyetini
- ii) Gerçek hızının, istenen hızından sapmalarını ve gevşeme süresi içinde düzeltildiği gerçeğini temsil eder (Bassoli ve Vincenzi, 2021).

En belirgin kuvvet, yaya α 'nın istediği v_α^0 hızıyla istediği hedefe hareket etme motivasyonunu yansıtan itici kuvvet olarak adlandırılan kuvvettir. Yaya itici kuvveti Denklem 3.11 ile hesaplanmıştır.

$$\vec{f}_\alpha^0 = \frac{v_\alpha^0 \cdot \vec{e}_\alpha^0(t)}{\tau_\alpha} - \frac{\vec{v}_\alpha(t)}{\tau_\alpha} \quad (3.11)$$

Burada $v_\alpha^0(t)$ gerçek hız, $\vec{e}_\alpha^0(t)$ istenen hareket yönü ve τ_α yaya α 'nın gevşeme süresidir. İstenen hareket yönü, yayanın $\vec{x}_\alpha$ anlık konumundan ve istenen hedef $\vec{p}$ 'den hesaplanır ve Denklem 3.12'de gösterilmiştir.

$$\vec{e}_\alpha^0(t) = \frac{\vec{p} - \vec{x}_\alpha}{\|\vec{p} - \vec{x}_\alpha\|} \quad (3.12)$$

Tau, sosyal kuvvet modelinde yayaların rahatlama süresini temsil eden bir parametredir. Yayaların yerel yaya akışına uymak için istedikleri hızı ne kadar hızlı ayarladıklarını belirler. Başka bir deyişle tau, yayaların engellerin veya diğer yayaların varlığı gibi çevrelerindeki değişikliklere ne kadar duyarlı olduklarını etkiler. Tau değerinin ayarlanması yaya akışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve farklı ortamlarda yaya hareketini optimize etmek için kullanılabilir (Kretz, 2020).

Tau değeri hesaplama adımları Denklem 3.13 ve Denklem 3.19 arasındaki gibidir.

$$\dot{v}(t) = \frac{v_0 - v(t)}{\tau} \quad (3.13)$$

$$v(t) = v_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (3.14)$$

Zamana göre $t = 1/J_c$:

$$v(1/J_c) = v_0 \left(1 - e^{-\frac{1}{J_c \tau}}\right) \quad (3.15)$$

Değişen v_0' ve τ' değerleri için sonuçlar:

$$v'(1/J_c) = v_0' \left(1 - e^{-\frac{1}{J_c \tau'}}\right) \quad (3.16)$$

$$v(1/J_c) = v'(1/J_c) \quad (3.17)$$

$$v_0 \left(1 - e^{-\frac{1}{J_c \tau}}\right) = v_0' \left(1 - e^{-\frac{1}{J_c \tau'}}\right) \quad (3.18)$$

τ' için çözüm Denklem 3.19 gibi olmaktadır.

$$\tau' = - \frac{1}{J_c \ln \left(1 - \frac{v_0}{v_0'} \left(1 - e^{-\frac{1}{J_c \tau}}\right)\right)} \quad (3.19)$$

3.4.2. Yayalar Arası Etkileşim

Yayalar arasındaki etkileşimler de bu modelde kuvvetlerle tanımlanır ve sosyo-psikolojik bir kuvvet ile fiziksel etkileşimlerden oluşur:

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(t) = \vec{f}_{\alpha\beta}^{\text{SOC}}(t) + \vec{f}_{\alpha\beta}^{\text{ph}}(t) \quad (3.20)$$

Yayalar arasındaki en önemli etkileşim, diğer yayalara karşı belirli bir mesafeyi koruma davranışıdır. Bu davranışı tanımlamak için sosyal kuvvet modelinde itici bir sosyo-psikolojik kuvvet uygulanmaktadır. İtme kuvveti, etkileşimde bulunan yayalar arasındaki mesafeye bağlıdır. En düşük mesafede en yüksek

değere sahiptir (ancak maksimum bir sınırın ötesine geçmez) ve artan mesafe ile sifıra düşer. Bu koşullar üstel bir fonksiyon kullanılarak uygulanabilir ve yayalar arasındaki etkileşimleri tanımlayan bir kuvvet ortaya çıkar:

$$\vec{f}_{\alpha\beta}^{\text{soc}}(t) = A_{\alpha} \exp \left[\frac{r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}} \right] \vec{n}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} \quad (3.21)$$

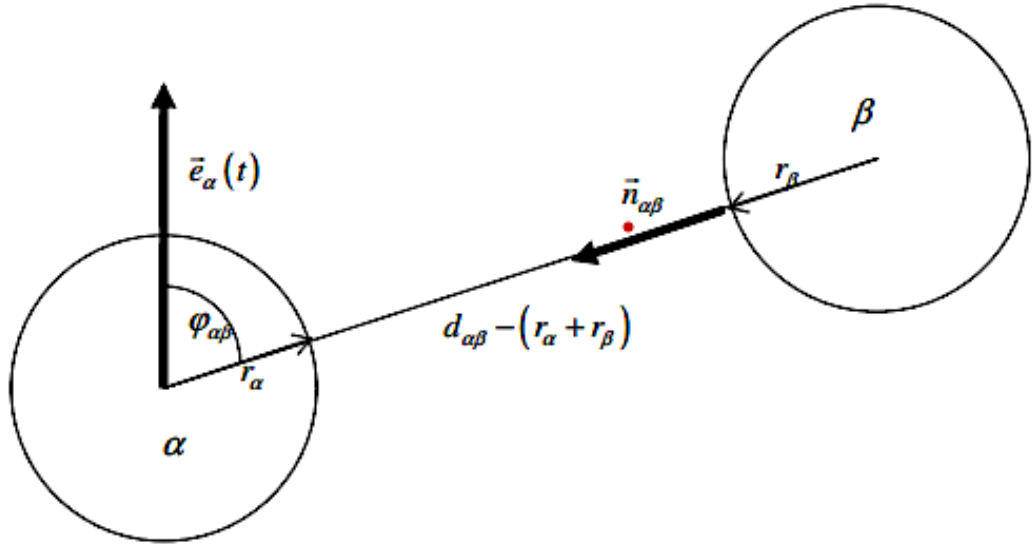
A_{α} etkileşim gücünü ve B_{α} itici etkileşim aralığını gösterir. $d_{\alpha\beta}$ α ve β yayaları arasındaki mesafedir, $r_{\alpha\beta}$ yarıçaplarının toplamıdır ve $\vec{n}_{\alpha\beta}$ β yayasından α yayasına işaret eden normalleştirilmiş vektördür. $\vec{n}_{\alpha\beta}$ ve $d_{\alpha\beta}$ zamana bağlıdır. $F_{\alpha\beta}$, anizotropik davranış için bir form faktörüdür. Her yayanın kapladığı alana eşit bir yarıçapı vardır. Üstel fonksiyon ile yayalar arasındaki etkin boş mesafe dikkate alınmaktadır (Apel, 2004).

Bu gücün ilk terimi, her bireyin özel alanına saygı duyma eğilimini tanımlar ve ayrıca sistem içinde ani değişiklikler olması durumunda çarpışmalardan kaçınmaya yardımcı olur. İkinci terim, sözde sürtünme etkileri göz ardı edilirse, yüksek yoğunluklarda ve saldırgan kalabalıklarda fiziksel etkileşimin davranışını açıklar. A_{α} ve B_{α} parametreleri, sırasıyla etkileşim gücünü ve aralığını belirtir. Bu A parametreleri genellikle kültürel etkilere bağlıdır, örneğin beklenen kişisel alan, modellenen topluma bağlı olarak değişebilir.

$d_{\alpha\beta}$ parametresi, dikkate alınan yayaların kütle merkezleri arasındaki mesafedir. $r_{\alpha\beta}$ α ve β 'nin yaya yarıçapları toplamıdır. $\vec{n}_{\alpha\beta}$, β 'dan α 'ya işaret eden normalleştirilmiş vektördür. Denklem 3.22'de gösterilmiştir.

$$\vec{n}_{\alpha\beta} = \frac{\vec{x}_{\alpha}(t) - \vec{x}_{\beta}(t)}{d_{\alpha\beta}(t)} \quad (3.22)$$

Burada $x_{\alpha}(t)$, t zamanında ve benzer şekilde β için α 'nın kütle merkezinin noktasıdır. Şekil 3.10, bu parametreleri göstermektedir.



Şekil 3.10. Yaya α ve yaya β arasındaki mesafe (Parry, 2007)

$F_{\alpha\beta}$ yayaların anizotropik davranışını açıklar. Bu bağlamda, yayanın önündekilerin hareketlerinin, arkadakilere göre hareketlerine daha fazla etkisi olduğu anlamına gelir. Yayalar genellikle ne olabileceğini tahmin edebilirler ve buna göre tepki verebilir. Bu, bu faktörün yayaların istenen hareket yönü ile itici kuvveti uygulayan yayanın yönü arasındaki açıya (φ) bağlı olmasıyla yapılır. Şekil 3.10'da da görülmektedir. Denklem 3.23 $F_{\alpha\beta}$ 'nın hesaplanmasını göstermektedir.

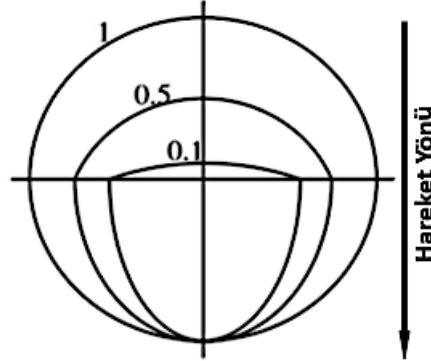
$$F_{\alpha\beta} = \lambda_{\alpha} + (1 - \lambda_{\alpha}) \frac{1 + \cos(\varphi_{\alpha\beta})}{2} \quad (3.23)$$

λ_{α} yayaların anizotropik karakterinin potansiyelidir. Denklem 3.24'e göre hesaplanır.

$$\cos(\varphi_{\alpha\beta}) = -\vec{n}_{\alpha\beta}(t) \cdot \vec{e}_{\alpha}(t) \text{ ve } \vec{e}_{\alpha}(t) = \frac{\vec{v}_{\alpha}(t)}{\|\vec{v}_{\alpha}^0(t)\|} \quad (3.24)$$

$\lambda_{\alpha} < 1$ ayarı, doğrudan bir yaya ile yukarıda bahsedilen anizotropik karakteri oluşturur.

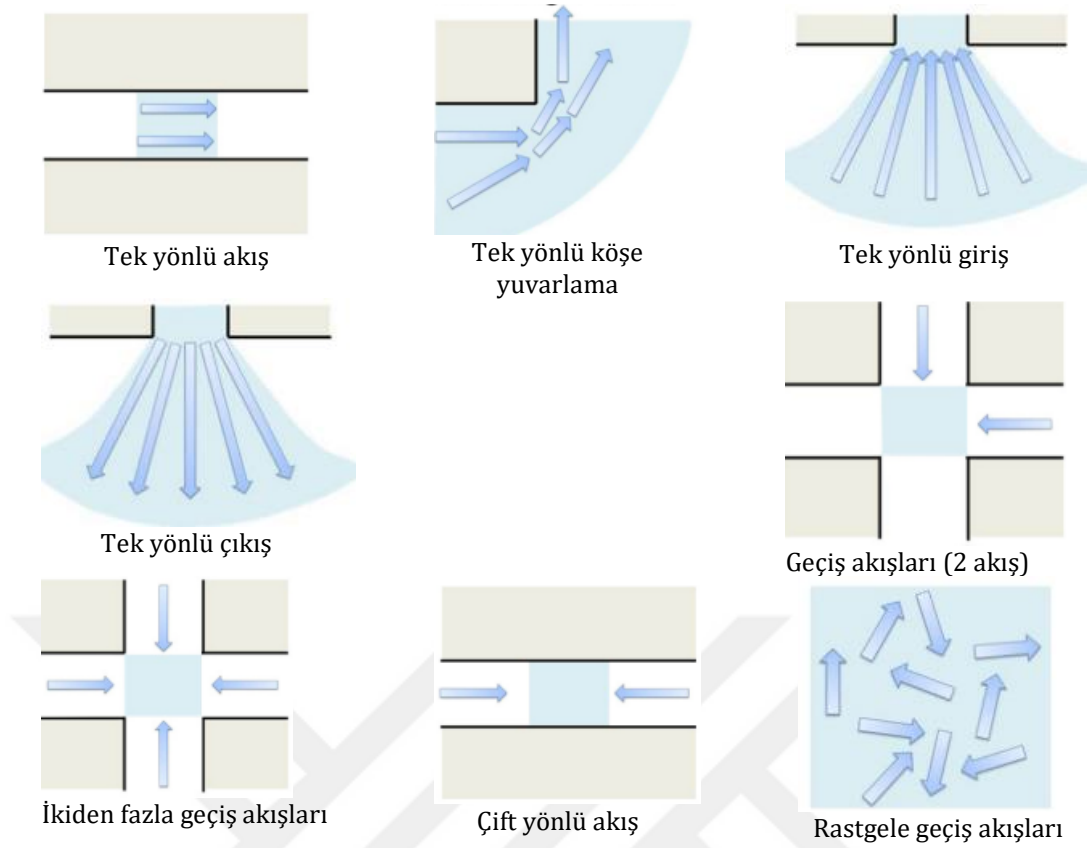
En büyük etkiye sahip olan ön taraf $\varphi = 0$ yani $1 F_{\alpha\beta}=1$ ve $0 < \varphi < \frac{\pi}{2} \cup \frac{3\pi}{2} < \varphi < 2\pi$ aralığındaki yayalar en güçlü etkiye sahiptir. Şekil 3.11 anizotropik davranış karakteristiğini göstermektedir (Parry, 2007).



Şekil 3.11. $F_{\alpha\beta}$ anizotropik davranış karakteristiği (Parry, 2007)

3.4.2.1. Yayaların Temel Hareketi

Yayaların temel durumları, yayanın çevrede gösterdiği hareket biçimleridir. Birleştirilmiş hareket temel durumları, tüm yaya hareketi davranışını kapsar (X. Chen vd., 2018). Duives vd. 2013 yılında yaptıkları çalışmalarında sekiz çeşit kitle hareketi temel durumu önermiştir. Buna dayanarak, kaçınma, kendi kendine durma, takip etme ve sollama dahil olmak üzere bireysel hareket temel durumları araştırılmıştır. Şekil 3.12, sekiz kitle hareketi temel durumunu gösterir.



Şekil 3.12. Kalabalık hareketi temel durumlarının görselleştirilmesi (Duives vd., 2013)

Helbing ve Molnar'ın 1995 yılında yaptıkları çalışmada yaya modelinin ilk versiyonu, her bir yayanın çevredeki çevreyi algılama ve tepki verme yeteneğine sahip olduğunu varsayarak, çok parçacıklı kendinden tahrikli bir sistem çerçevesine dayanmaktadır. Yaya ve çevre arasındaki etkileşimler kuvvetlerle anlatılır. Kuvvetler, hedefin itici gücü, diğer yayaların itici kuvvetleri, engellerin ve sınırların itici kuvvetleri, arkadaşların çekim kuvvetleridir. Ayrıca yön bağımlılığı ve dalgalanma terimi göz önüne alındığında, bu kuvvetlerin üst üste binmesi yayayı hareket etmeye yönlendirir. İlk versiyonda, yayalar düşük yoğunluk durumundadır. Yoğunluğun artmasıyla, yayalar başkalarıyla temas kurmaya başlar ve bu da kaçış panik versiyonunun oluşumunu teşvik eder. Burada normal temas kuvveti ve teğet kayma sürtünme kuvveti dikkate alınır (X. Chen vd., 2018).

3.4.3. Sınır Etkileşimleri

Model içindeki sınırların ele alınması, yaya etkileşimlerinin anizotropik etkileri hariç, diğer yayalarınkine benzer. Denklem 3.25'te gösterilmiştir.

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_\alpha) = A_{\alpha\beta} \exp\left(\frac{r_\alpha - d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha\beta}}\right) \vec{n}_{\alpha\beta} \quad (3.25)$$

Burada $d_{\alpha\beta}$, sınır ile yaya arasındaki mesafe ve $\vec{n}_{\alpha\beta}$, sınırdan α 'ya işaret eden normal vektördür.

Çoğu durumda, dikkate alınması gereken birden fazla sınır vardır ve bu, hangi sınırların etkileneceğine dair bir soruya yol açar. Sınır etkileşimini dikkate almanın üç olası yolu vardır:

Süperpozisyon: Tüm sınırlar yayayı etkiler, böylece kuvvetler toplanır.

En kısa mesafe: Yalnızca en yakın sınır elemanı dikkate alınır.

En büyük etki: yalnızca en büyük etkiye sahip sınır dikkate alınır.

Çoğu geometride en büyük etki ve en kısa mesafe modeli eşdeğerdir. Bu da genellikle uygun bir seçimdir, ancak bu, açılı geçiş yolları için makul olmayabilir ve süper pozisyon daha iyi olabilir (Parry, 2007).

3.5. Tahliye Planlaması

Tahliye genel anlamda bir binadan, alandan, potansiyel veya gerçek bir tehlikeden kaçış olarak tanımlayabiliriz. Tahliye planlaması binanın ya da alanın yapımı aşamasında, yapıldıktan sonra da yapılabilmektedir ancak tasarım aşamasında yapılması oldukça önemlidir. Tahliye süreci dinamikleri, insan kalabalığı, birbirine etkileşimleri, tehlike unsurları ya da karmaşık bina yapıları gibi faktörler ile karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle bu konunun araştırılması farklı bilim dallarını da gerektirmektedir (Ekizoğlu, 2009).

Kalabalık dinamiklerinin analizi için gerçek insanlarla yapılan deneylerin tehlikeli ve uygulamak için pratik değildir ve bunun için farklı simülasyonlar

kullanılmaktadır. Geleneksel olarak, kalabalık yönetimi ve bina tahliyesi kullanım verimliliği, kontrollü alanlarda seyahat eden yayaların yangın tatbikatı ve CCTV (Kapalı Devre Televizyon) gözlemleri yoluyla değerlendirilir ve analiz edilir. Bina sakinlerinin acil durumlar meydana geldiğinde kaçış yolları, tahliye prosedürleri ve süreçleri hakkında bilgi sahibi olmalarına yardımcı olmak geleneksel bir uygulamadır. Sanal ortam altında çeşitli bina geometrilerine yönelik davranışları da dahil olmak üzere kalabalık dinamiklerini simüle etme yeteneğine sahiptir ve bunlar daha sonra bina tasarımı ve tahliye prosedürleri için planlama sürecinde, örneğin mimarlar ve güvenlik mühendislerine yardımcı olmak için kullanılabilir. Kalabalık simülasyon modeli kullanılarak tahliye çıkış süresi hesaplanabilir ve tahliye verimliliğini artırmak için çıkış kapılarının konumları ve boyutları en uygun şekilde belirlenebilir (Khamis vd., 2020).

Tahliye planlaması, çoğu insanın bulunduğu ortamda doğal bir kaza veya kasıtlı bir eylem meydana geldiğinde güvenli bir bölgeye tahliye edilebilmesini sağlamak için temel bir gerekliliktir. Tahliye planlamasındaki temel zorluk, güvenli alanlara en uygun tahliye güzergahını belirlemektir. Farklı algoritmalar ve senaryolar ile tahliye sistemleri modellenabilir ve iyileştirme çalışmaları yapılabilir (Fang vd., 2011). Tahliye planları geleneksel olarak, gerçek tehdit hakkında daha fazla bilgi edinilmeden çok önce, acil duruma hazırlanmak için yapılmaktadır. Sensör teknolojisinin de gelişmesi ile insanların konumunu ve tehlikenin yayılmasını izlememizi sağlayabilmektedir, akıllı yön sinyal donanımı (görsel, ses, dokunsal) ve her yerde bulunan akıllı telefonlar, tahliye yönlerine dinamik olarak değişen tahliye yönlerini iletmeyi mümkün kılar. Bu nedenle acil durum sırasında tahliye planlarının hesaplanmasını, devam eden durum için özel olarak optimize edilmesini ve acil durum geliştikçe güncellenmesi önerilmektedir (Hadzic vd., 2011).

Tahliye problemi, belirli kısıtlamaları olan bir ağ olarak tanımlanabilir. Genellikle panik eylemleri sosyal psikoloji perspektifinden incelenmiştir. Aşırı kalabalıktaki panik halindeki bireyin davranışları uyumsuz bir eğilimdedir. Bu da sosyal bulaşıcılığa atfedilir ve koordinasyonsuz hareket oluşur. Tahliye planlaması için kritik zorluk, ağda hızla yayılabilen tıkanıklıkla nasıl başa

çıkılacağıdır. Tıkanıklığı azaltmak için ilk strateji, tahliye edilen alanlar arasındaki çatışmaları en aza indiren ve yol ağını doyuracak tahliye akışlarını önleyen tahliye planları hazırlamaktır. Anahtar, tahliye yollarını seçmek ve tahliyeyi yol ağı üzerindeki baskıyı eşit olarak dağıtmak için düzenlemektir (Gao vd., 2020; Pillac vd., 2016).

Panik kaçışların karakteristik özellikleri şu şekilde özetlenebilir (Helbing vd., 2000a);

- İnsanlar normalden daha hızlı hareket eder ya da etmeye çalışır.
- Bireyler zorlanmaya başlar ve aralarında fiziksel temas başlar.
- Oluşan darboğazdan geçiş kontrol edilemez hal alır.
- Çıkışlarda kemerleşme ve tıkanma görülür.
- Sıkışmalar oluşur.
- Sıkışan kalabalığın fiziksel etkileşimleri toplanır.
- Düşen ve yaralanan insanlar nedeni ile kaçış yavaşlamaya başlar.
- İnsanlar kitlesel davranışlar yani başka insanların yaptığını yapma eğilimine geçerler.
- Alternatif çıkışlar genellikle gözden kaçır veya verimli bir şekilde olmaz.

Bu büyük ölçekli binaların çoğu, tahliye yolunun çok uzun ve karmaşık olmasına ve tahliye süresinin gecikmesine neden olan birden fazla işleve ve büyük oda kapasitesine. Bina yönetmeliği, tahliye tesisinin tasarlanması için kılavuz niteliğindedir, ancak yönetmeliğin ana düşüncesi tahliye süresini en aza indirmek yerine temel güvenlik gereksinimlerini karşılamaktır. Tasarım için kullanılan kurallar sadece tasarım kısıtlamalarını belirtir, ancak kısıtlamaların tahliye performansı yönetmeliklerde gösterilmez (Gao vd., 2020).

3.6. Sosyal Kuvvet Modelinin Tahliye Planlamasına Uyarlanması

Panik psikolojisi genellikle panik kalabalığının davranışlarında kendini gösterir. Panik kalabalığının ortak özellikleri, normal hızdan daha hızlı yürüme ve kalabalık fenomenine ve kör itaate daha kolay maruz kalmalarıdır. Tüm bu

davranışlar ancak özel modeller kurularak ortaya konulabilir (Zhonghua ve Yanyun, 2018).

Sosyal kuvvet modeli, acil durum tahliyesi sırasında yayaların davranışını simüle ederek tahliye için kullanılır. Bu model, güvenli bir yere ulaşma arzusu ve diğer yayalarla çarpışmalardan kaçınma eğilimi gibi yaya davranışını etkileyen sosyal kuvvetleri dikkate alır. Araştırmacılar bu kuvvetleri modelleyerek, tahliye sırasında yayaların belirli bir ortamda nasıl hareket edeceğini tahmin edebilir ve potansiyel darboğazları veya güvenlik tehlikelerini belirleyebilir. Sosyal kuvvet modelinin karmaşık geometriler, merdivenlerdeki üç boyutlu etkileşimler, farklı kişilikler ve çok sayıda yaya ile başa çıkmada etkili olduğu görülmüştür (Helbing vd., 2002).

Darboğaz akışının korunması, sistemin genel kapasitesini etkilediği için yaya simülasyonlarında önemlidir. Başka bir deyişle, darboğaz akışı korunmazsa, tıkanıklığa ve yaya veriminin azalmasına neden olabilir. Bu da güvenlik, verimlilik ve kullanıcı deneyimi açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Araştırmacılar, darboğaz akışını korumak için sosyal kuvvet modelini kalibre ederek, simülasyonlarının gerçek dünya koşullarını doğru bir şekilde yansıtmasını sağlayabilir ve yaya akışını optimize eden tasarım kararlarını bilgilendirmeye yardımcı olabilir (Kretz, 2020).

İlk versiyonda yayalar düşük yoğunluktadır. Yoğunluğun artması ile yayalar diğerleriyle temas etmeye başlar ve bu da kaçış paniği oluşumuna teşvik eder. Burada normal temas kuvveti ve teğetsel kayma sürtünme kuvveti dikkate alınmaktadır (X. Chen vd., 2018). Yaya ve sınır etkileşimi terimlerinde "kayan sürtünme kuvvetini" dikkate alır (Helbing vd., 2000b). Yaya etkileşimleri için model Denklem 3.26 ve Denklem 3.27'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \vec{f}_{\alpha\beta} = & \left\{ A_{\alpha} \exp\left(\frac{r_{\alpha}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}}\right) \cdot \vec{F}_{\alpha\beta} + k \cdot g(r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}) \right\} \vec{n}_{\alpha\beta} \\ & + \kappa \cdot g(r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}) \Delta v_{\alpha\beta}^t \vec{t}_{\alpha\beta} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Bu denklemde $\vec{t}_{\alpha\beta} = (-n_{\alpha\beta}^2, n_{\alpha\beta}^1)$ teğet yöndür. $\Delta v_{\alpha\beta}^t = (\vec{v}_\beta - \vec{v}_\alpha) \cdot \vec{t}_{\alpha\beta}$ ise bağlı teğet hızdır. k, κ değerleri sistemin sabitleri olarak verilmiştir. $g(x)$ fonksiyonu, görüş olumsuz ve aksi halde görüşe eşit ise 0'dır (Helbing ve Johansson, 2012).

$$g(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}) = \begin{cases} 0, & \text{if } d_{\alpha\beta} > r_{\alpha\beta} \\ r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}, & \text{değilse} \end{cases} \quad (3.27)$$

Fiziksel olarak bu, 'kayan sürtünme kuvvetinin' yalnızca yayalar birbirine dokunduğunda hissedildiği anlamına gelir. Yine sınır etkileşimleri benzerdir ve Denklem 3.28'deki gibi hesaplanır (Helbing vd., 2000c; Verma, 2021b).

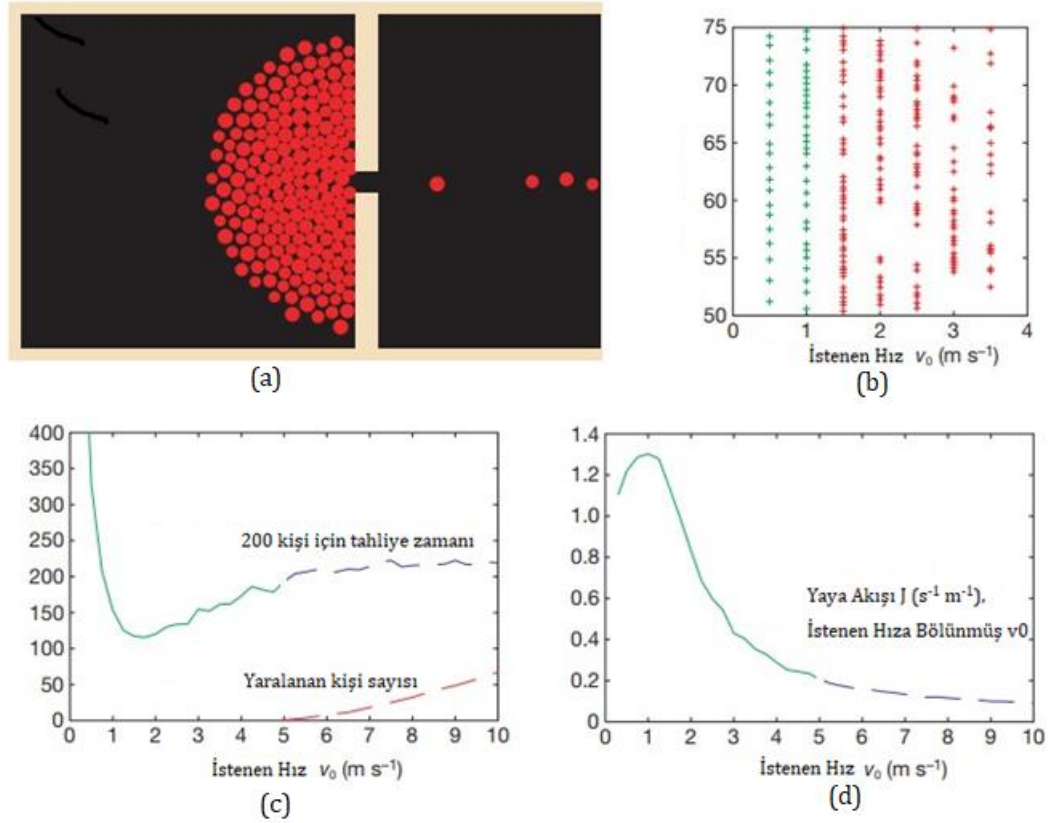
$$\vec{f}_{\alpha\beta} = \{A_{\alpha\beta} \exp\left(\frac{r_{\alpha} - d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha\beta}}\right) + k \cdot g(r_{\alpha} - d_{\alpha\beta})\} \vec{n}_{\alpha\beta} - \kappa \cdot g(r_{\alpha} - d_{\alpha\beta}) (v_{\alpha}^t \cdot \vec{t}_{\alpha\beta}) \vec{t}_{g\alpha\beta} \quad (3.28)$$

3.6.1. "Faster is Slower" Etkisi

"Faster is slower (Daha hızlı daha yavaştır)" olgusu, yayaların hızını artırmanın aslında genel tahliye sürecini yavaşlatabileceğine dair sezgisel gözlemi ifade eder. Bu olgu, tam görüşe sahip tek çıkışlı bir odadan yaya tahliyesi simüle edilirken değiştirilmiş sosyal kuvvet modelinde yeniden üretilmiştir (Cao ve Wang, 2015).

Yayaların çıkış süreleri üzerinde yapılan birçok kontrollü deney farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Simüle edilmiş bir rekabet senaryosu altında (örneğin, yayalar arasında temasa izin vererek), yayanın çıkışa ulaşma kaygısı ne kadar fazlaysa, tahliye süresinin de o kadar fazla olduğunu görülmüştür. Bu nedenle, son zamanlarda "daha hızlı-yavaştır" teriminin daha kesin olan "agresif çıkış-yavaştır" terimi ile değiştirilmesi önerilmiştir. Helbing tarafından ortaya atılan sosyal kuvvet modeli, kalabalık içinde orta ila yüksek kaygı seviyeleri için "daha hızlı-yavaştır" etkisini gerçekleştiren ilk modeldir. Bu, sürtünme yaya dinamiğine hâkim olduğunda ortaya çıkar. Çıkış eğrisi, yayaların çıkışa ulaşma kaygısına bağlı olarak çıkış akışının düzenli veya aralıklı olarak gerçekleşebileceğini göstermektedir. Tıkanma, çıkış yolundaki herhangi bir daralmadan hemen önce "kavisli yapılar" olarak gözlemlenebilir ve sistemde yığın içindeki basınçla da ilişkilendirilmiştir (Cornes vd., 2021).

Normal yürüme koşulları altında, 200 yayanın odayı terk etme süresi, istenen hızlar arttıkça azalmaktadır. Bununla birlikte, 1,5 m/sn'den daha yüksek istenen hızlar ayrılma verimliliğini azaltmaktadır ve bu durum özellikle çıkış istenen hıza bölündüğünde netleşmektedir. Bunun nedeni, ek sürtünme etkilerine neden olan itmedir (Helbing vd., 2000c). Şekil 3.13 bu durumu gösteren simülasyonları ve çıkış sürelerine etkisini göstermektedir.



Şekil 3.13. Yayaların çıkışa hareket ederken simülasyonları (Helbing vd., 2000c)

Şekil 3.13(a)'da Senaryonun anlık görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.13(b) Çeşitli istenen hızlar v_0 için yayaların çıkış sürelerinin gösterimidir. Yüksek istenen hızlarda tıkanma nedeniyle düzensiz çıkış gözlenmektedir. Şekil 3.13(c) Normal yürüme koşulları altında, 200 yayanın odayı terk etme süresi v_0 arttıkça azalır. Şekil 3.13(d) 1,5 m/sn'den daha yüksek istenen hızlar, çıkış J istenen hıza bölündüğünde özellikle belirgin hale gelen terk etme verimliliğini azaltır. Bunun nedeni ek sürtünme etkilerine neden olan itmedir (Helbing vd., 2000c).

"Daha hızlı daha yavaştır" etkisi, yayalar tehlikeli bir duruma karıştıklarında ve acil durum kapısından kaçmaya çalıştıklarında ortaya çıkan başlıca olgudur. Bu etki, çıkışa ne kadar hızlı ulaşmaya çalışırlarsa, kapının yakınındaki tıkanıklık nedeniyle o kadar yavaş hareket ettiklerini belirtir. Bu etki "sosyal kuvvet modeli" bağlamında gözlemlenmiştir. Ancak, iki boyutlu bir hazneden akan tahıllar veya bir ahıra giren koyunlar gibi diğer fiziksel sistemler üzerinde yapılan araştırmalarda da hızlıdır-yavaştır davranışının sergilendiği bilinmektedir. Tıkanma gecikmeleri üzerine yapılan araştırmalar (Sosyal Kuvvet Modeli bağlamında), kapıya yakın küçük bir grup yayanın kalabalığın geri kalanının yolunu tıkamaktan sorumlu olduğunu göstermiştir. Bu engelleyici kümeler çıkış etrafında kemer benzeri meta stabil bir yapı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu engelleme yapısına ait yayalar arasındaki teğetsel sürtünmenin tüm tahliye gecikmeleriyle ilgili bir rol oynadığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, engelleyici yapıların miktarı veya ömrü kapı genişliğine, engellerin varlığına veya düşen bireylere göre değişebilir (Sticco vd., 2017).

Bunun neden böyle olduğuna dair genel bir açıklama tanecikli malzemelerin fiziği çerçevesinde bulunabilir. "Daha hızlı daha yavaştır" etkisi tahliye güvenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. İnsanlar çok hızlı bir şekilde tahliye edilmeye çalışıldığında, bu durum tahliye sürecini yavaşlatabilir ve yaralanma veya ölüm riskini artırabilir. Bu etki simülasyonlarda ve insan izdihamları ve diğer felaketlerden elde edilen anekdot niteliğindeki kanıtlarda gözlemlenmiştir. Bu fenomenden kaçınmak için tahliye planlamasında yayaların istenen hızının dikkate alınması oldukça önemlidir (Garcimartín vd., 2014).

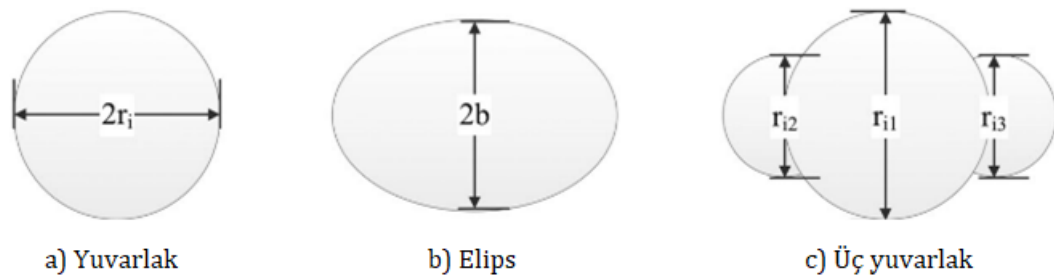
Optimum tahliye verimliliği, sistemin maksimum akış hızına ulaştığı belirli bir hızda elde edilebilen ortalama istenen kuvvet ile ortalama tanecikli kuvvet arasındaki hassas bir dengeye karşılık gelir. Tahliye dinamiklerinin ve "Daha hızlı daha yavaştır" etkisinin anlaşılması, daha konforlu ve güvenli yaya tesislerinin tasarlanmasında pratik uygulamalara sahip olabilir. Örneğin, mimar ve mühendislerin daha geniş çıkışlara, daha iyi tabelalara ve daha verimli tahliye planlarına sahip binalar tasarlamalarına yardımcı olabilir. Ayrıca acil durum müdahale ekiplerinin bir tahliye işlemi sırasında kalabalık davranışını

yönetmek için daha iyi stratejiler geliştirmelerine de yardımcı olabilir. Benzer çalışmalar, stadyumlar, havaalanları ve tren istasyonları gibi kamusal alanların tasarımını optimize ederek büyük kalabalıklar için güvenli ve verimli olmalarını sağlamak için kullanılabilir (X. Chen vd., 2018).

3.7. Yaya Parametreleri

Sosyal kuvvet modelinde, şekil, kütle, yürüme hızı ve grup gibi yaya öznitelikleri dikkate alınmaktadır. Bu nitelikler arasında kütle ve yürüme hızı, deneysel çalışmalardan elde edilen fiziksel niteliklerdir. Bu nedenle, bunlara odaklanılmamış ve yaya şekli ve grubuna daha fazla dikkat edilmiştir. Gerçekte, yayalar iki boyutlu düzlemde farklı genişliklere sahip elipslerdir. Modelde, hesaplama verimliliğini artırmak için bazı değişiklikler yapılmıştır. Kaçış paniği simülasyonunda, yayalar daireler ile temsil edilmektedir. Daha sonraki araştırmalarda araştırmacılar yayaları temsil etmek için elips ve üç daire kullanmaya çalışmışlardır (X. Chen vd., 2018).

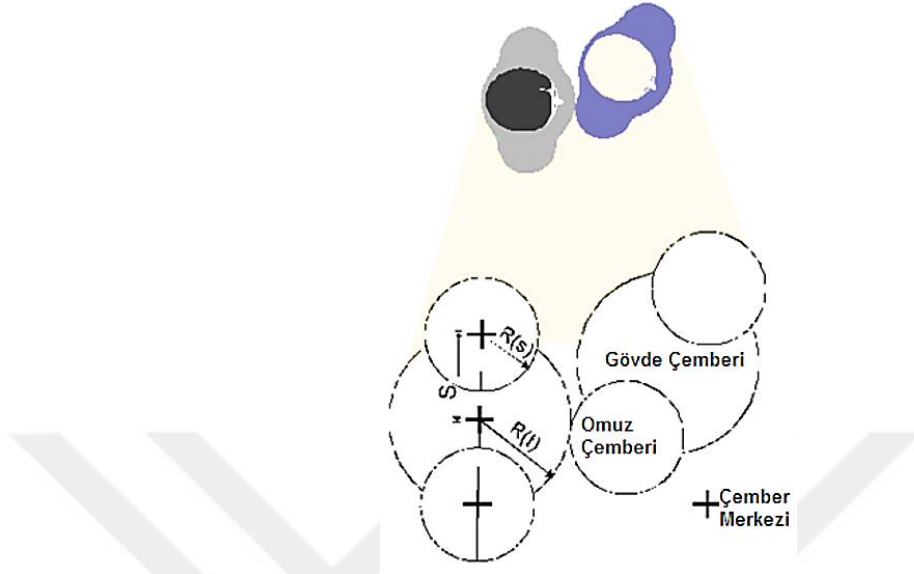
Etkileşim kuvvetlerini hesaplarken, göz önünde bulundurulması gereken hususlardan biri vücut tip tanımlamasının nasıl yapılacağıdır. Simülasyonlarda ve optimizasyon işlemlerinde kullanılan yaya modellemelerinden bazıları Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Simülasyonlarda kullanılan yaya modellemeleri (X. Chen vd., 2018)

Üç yuvarlak modelinde, her kişinin vücudu matematiksel olarak üç adet çemberden oluşmaktadır. Şekil 3.15'te merkezde "gövde" çemberi $R(t)$ yarıçapı ile ve iki omuz çemberi de $R(s)$ yarıçapı ile gösterilmiştir. Omuz çemberinin

merkezi ile gövde çemberinin merkezi arasındaki uzaklık da S olarak gösterilmiştir (Ekizoğlu, 2009).



Şekil 3.15. Vücut tipi tanımlaması (Ekizoğlu, 2009)

Sosyal kuvvet modelinde tüm parametrelerde sabit değerler kullanılmaktadır. Bu nedenle insanların vücut ölçülerinin büyüklüğüne göre koşu hızlarının farklı olduğu varsayılacaktır. Konu ile ilgili daha önce çalışmalar yapılmış ve antropometrik ölçülerle insan koşu hızı arasında bağlantı olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 3.4 sosyal kuvvet modelinde kullanılan denklemleri ve karşılıklarını göstermektedir.

Çizelge 3.4. Sosyal kuvvet modeli hesaplamasındaki sabitler ve denklemleri (Parry, 2007)

Parametre	Denklem	Değer
Başlangıçta İstenen Hız $v_{\alpha}^0(0)$	$v_{\alpha}^0(t) = [1 - n_{\alpha}(t)]v_{\alpha}^0(0) + n_{\alpha}(t)v_{\alpha}^{max}$	1,34 ms ⁻¹
Gevşeme zamanı τ_{α}	$\vec{f}_{\alpha}^0 = \frac{1}{\tau_{\alpha}}(v_{\alpha}^0(t)e_{\alpha}(t) - v_{\alpha}(t))$	0,5 s
Maksimum Hız v_{α}^{max}	$v_{\alpha}^0(t) = [1 - n_{\alpha}(t)]v_{\alpha}^0(0) + n_{\alpha}(t)v_{\alpha}^{max}$	1,3*v _α ⁰ (0)
Bölgesel Alan Yaya Etkileşim Gücü A_{α}^1	$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha}^1 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^1}\right] \vec{n}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} + A_{\alpha}^2 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^2}\right] \vec{n}_{\alpha\beta}$	0
Bölgesel Küre Yaya Etkileşim Aralığı B_{α}^1	$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha}^1 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^1}\right] \vec{n}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} + A_{\alpha}^2 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^2}\right] \vec{n}_{\alpha\beta}$	0,3 m
Anizotropik Karakter λ_{α}	$F_{\alpha\beta} = \lambda_{\alpha} + (1 - \lambda_{\alpha}) \frac{1 + \cos(\varphi_{\alpha\beta})}{2}$	0.75
Fiziksel Yaya Etkileşim Gücü A_{α}^2	$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha}^1 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^1}\right] \vec{n}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} + A_{\alpha}^2 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^2}\right] \vec{n}_{\alpha\beta}$	2
Fiziksel Yaya Etkileşim Aralığı B_{α}^2	$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha}^1 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^1}\right] \vec{n}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} + A_{\alpha}^2 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^2}\right] \vec{n}_{\alpha\beta}$	0,2 m
Sınır Etkileşim Gücü $A_{\alpha\beta}$	$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha}) = A_{\alpha\beta} \exp\left(\frac{r_{\alpha}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha\beta}}\right) \vec{n}_{\alpha\beta}$	5
Sınır Etkileşim Aralığı $B_{\alpha\beta}$	$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha}) = A_{\alpha\beta} \exp\left(\frac{r_{\alpha}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha\beta}}\right) \vec{n}_{\alpha\beta}$	0,1 m
Yaya Yarıçapı r_{α}	$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha}^1 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^1}\right] \vec{n}_{\alpha\beta} \cdot F_{\alpha\beta} + A_{\alpha}^2 \exp\left[\frac{r_{\alpha\beta}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha}^2}\right] \vec{n}_{\alpha\beta}$ $\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha}) = A_{\alpha\beta} \exp\left(\frac{r_{\alpha}-d_{\alpha\beta}}{B_{\alpha\beta}}\right) \vec{n}_{\alpha\beta}$	0,3 m

3.7.1. Yaya Parametrelerinin Simülasyona Uyarlanması

Dessalew vd. (2019), çalışmalarında antropometrik değişkenler erkeklerde kadınlara göre anlamlı olarak daha yüksek değerler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Deneyimli sporcular her iki cinsiyette de daha iyi performans göstermiştir. Antropometrik parametreler, yaralanmaları önleme ve sağlık riski değerlendirmesinin yanı sıra seçim, tahmin, koşu performansını iyileştirme için yararlı olabileceğini tespit etmişlerdir. Hem erkek hem de kadın sporcular için, daha hafif vücut ağırlığına, daha kısa/ortalama vücut boyuna ve daha küçük vücut ölçülerine, daha kısa kalçalara, daha küçük çevrelere sahip olanlar daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Septadina vd. (2019), çalışmalarında vücut kitle indeksi ile koşu hızı arasında negatif bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Burada yine antropometrik ölçümlerden de yararlanmışlardır.

Šentija vd. (2012), antropometrik parametreler ile tercih edilen geçiş hızı (PTS-Preferred Transition Speed) her iki cinsiyette de incelemiştir. PTS'nin olası belirleyicileri olarak vücut ölçülerini araştıran önceki çalışmalar boyuna vücut boyutlarına yönelirken, PTS ile enine vücut boyutları arasındaki ilişki bu çalışmada incelenmiştir. Antropometrik parametreler 48 beden eğitimi öğrencisinde (21 erkek, 27 kadın) ölçülmüş ve PTS'nin belirlenmesi için bir egzersiz testi uygulanmıştır. PTS ile enine antropometrik parametreler arasındaki ilişki antropometrik değişkenler arasındaki ilişki incelenmiştir. Çeşitli vücut büyüklükleri arasında zayıf ile orta düzeyde korelasyonlar ve vücut şekli değişkenleri ile PTS arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Erkeklerde, enine vücut şekli ile PTS arasında anlamlı negatif korelasyonlar bulunmuştur. Vücut boyuna göre ölçeklendirilmiş boyutlar ve PTS arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Dişilerde, antropometrik ölçüler ve PTS ile anlamlı düzeyde negatif korelasyon göstermiştir. Çalışmanın sonuçları, yürüyüşün insanlarda geçiş hızı hem enine hem de boyuna vücut boyutlarıyla ilişkilidir ve PTS'nin doğru bir şekilde yorumlanması için vücut boyutu ve şeklindeki cinsel dimorfizm dikkate alınması gerektiğini de tavsiye etmişlerdir.

Kretz (2020), çalışması ile $v_{\alpha}^0(0)$ hızını 0,8 ile 2,0 m/sn aralığında almıştır.

Sosyal kuvvet modeli baz alınarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu nedenle antropometrik verilerimiz en büyük ve en küçük değerleri alındıktan sonra 0,8 ile 2,0 koşma hızları arasında ölçeklendirilerek Çizelge 3.5 elde edilmiştir. Bir aralığı rastgele bir değerler kümesi $[a, b]$ arasında yeniden ölçeklendirmek için kullanılan denklemler 3.29 ve 3.30'dur (Wikipedia, 2023).

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (3.29)$$

$$x' = a + \frac{(x - \min(x))(b - a)}{\max(x) - \min(x)} \quad (3.30)$$

Çizelge 3.5. Antropometrik veriler ve ölçeklendirilmiş koşu hızları

Kişi No	Omuz Genişliği	Vücut Derinliği	Alan(m ²)	Ölçekli Hız(m/sn)
1	34	25	0,2915	1,573101952
2	36	23	0,2877	1,601735358
3	39	25	0,3125	1,410412148
4	34	23	0,2796	1,661605206
5	36	21	0,2749	1,695444685
6	36	23	0,2877	1,601735358
7	36	25	0,3000	1,50802603
8	35	26	0,3016	1,495010846
9	36	24	0,2939	1,554880694
10	36	25	0,3000	1,50802603
...				
2212	37	26	0,3102	1,427331887

3.8. K-Means Kümeleme

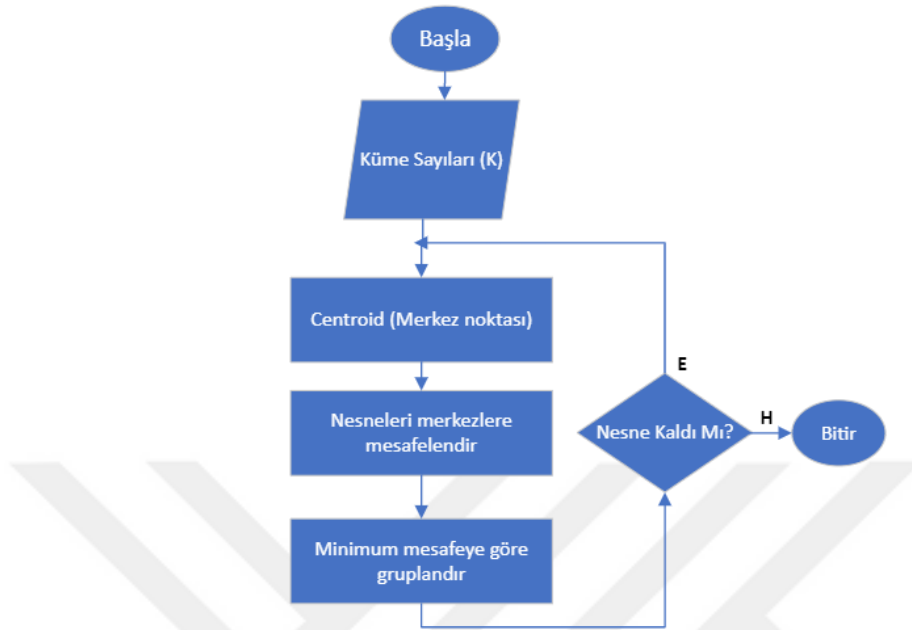
Kümeleme önemli bir veri işleme tekniğidir. Örüntü tanıma, görüntü işleme ve veri madenciliği gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Etiketlenmemiş girdi vektörlerini kümeler veya "doğal gruplar" halinde düzenlemeye çalışır, öyle ki bir küme içindeki veri noktaları farklı kümelere ait olanlara göre birbirine daha çok benzer, yani sınıflar arası benzerliği en aza indirirken küme içi benzerliği en üst düzeye çıkarmaya çalışır. Kümeleme

algoritmaları genel olarak şu kategorilerde sınıflandırılabilir: hiyerarşik, bölüm tabanlı, yoğunluk tabanlı, ızgara tabanlı ve model tabanlı kümeleme algoritmaları. Bunlar arasında, nesneleri bazı üyelik matrisleri ile bölümleyen bölüm tabanlı kümeleme algoritmaları en yaygın şekilde çalışılmıştır (Zhu vd., 2009).

Kümeleme, verileri tanımlamak için kümeler olarak adlandırılan sonlu bir kategori kümesinin tanımlanmaya çalışıldığı denetimsiz bir öğrenme modelidir. Sınıf etiketli örnekleri analiz eden sınıflandırmanın aksine, kümelemenin eğitim aşaması yoktur ve genellikle sınıflar önceden bilinmediğinde kullanılır. Veri ögeleri arasında bir benzerlik ölçütü tanımlanır ve ardından benzer ögeler kümeler oluşturmak üzere bir araya getirilir. Genellikle, en iyi kümelemeyi sağlayan nitelikler de tanımlanmalıdır. Verilerin kümeler halinde gruplandırılması, sınıf içi benzerliğin maksimize edilmesi ve sınıflar arası benzerliğin minimize edilmesi prensibine dayanır. Kümelerle ilgili özellikler, bir kümeyi diğerinden ayıran küme profillerini belirlemek için analiz edilebilir. Yeni bir veri örneği, en yakın eşleşen kümeye atanarak sınıflandırılır ve kümedeki diğer verilere benzer özelliklere sahip olduğu varsayılır (Dehariya vd., 2010).

K-Means kümeleme, temel olarak verileri analiz etmek için uygulanan bir bölümlendirme yöntemidir ve verilerin gözlemlerini çeşitli girdi veri noktaları arasındaki konumlara ve mesafeye dayalı nesneler olarak ele alır. Nesnelerin birbirini dışlayan kümeler (K) ayrılması, her kümedeki nesnelerin birbirine mümkün olduğunca yakın, ancak diğer kümelerdeki nesnelerden mümkün olduğunca uzak kalacak şekilde yapılır. Her küme, merkez noktası ile karakterize edilir. Çoğu zaman kümelemede kullanılan uzaklıklar aslında uzamsal uzaklıkları temsil etmez. Genel olarak, küresel minimum bulma sorununun tek çözümü başlangıç noktalarının kapsamlı bir şekilde seçilmesidir. Ancak rastgele başlangıç noktasına sahip birkaç çoğaltmanın kullanılması bir çözüme, yani küresel bir çözüme yol açar. K-Means kümeleme algoritması, bir veri kümesinde, istenen sayıda K kümesi ve k başlangıç noktası kümesinde,

istenen sayıda farklı kümeyi ve bunların merkezlerini bulur. K-Means kümeleme için algoritmik diagramı Şekil 3.16’da verilmiştir (Ghosh ve Kumar, 2013).



Şekil 3.16. K-means algoritmasının akış diagramı (Dehariya vd., 2010)

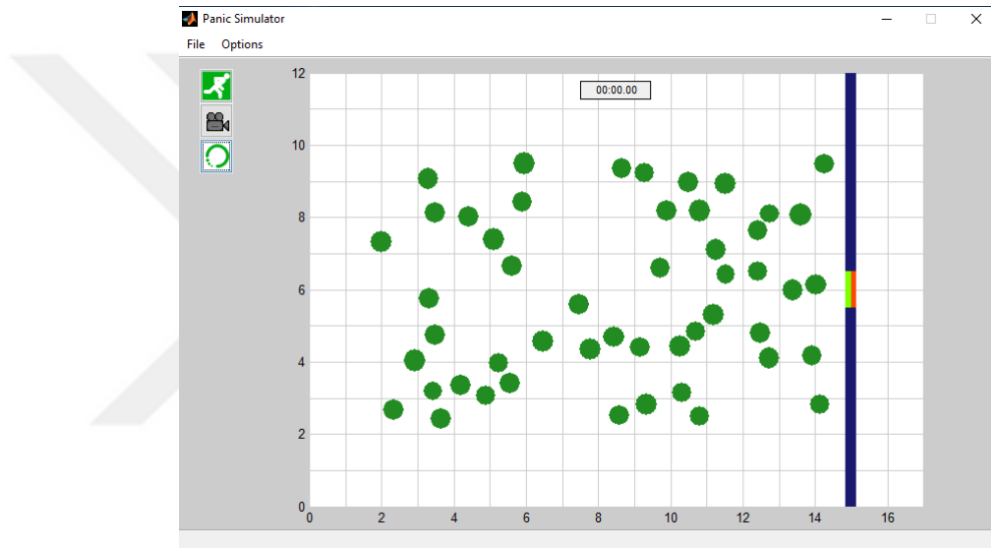
Bulanık kümelemedeki her nesnenin kümeye belirli bir aidiyet derecesi vardır. Bu nedenle, kümenin kenarında bulunan nesneler merkezde bulunan nesnelerden farklıdır, yani kenardaki nesneler merkezdeki nesnelerden daha az dereceye sahiptir. Herhangi bir p nesnesine $k-1$ 'inci kümede bulunan bir dizi katsayı atanmıştır $w_{k-1}(p)$. Bulanık c-ortalamlar yönteminde, bir kümenin merkezi, kümede bulunan tüm nesnelerin ortalamasıdır ve noktaların kümeye ait olma dereceleri ile ölçülür (Khalid vd., 2014). K-Means kümelemenin denklemi 3.31’da gösterilmiştir.

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (3.31)$$

K-Means kümelemesini tanımlayacak olursak, n nesneyi, $k(k>1)$ önceden tanımlanmış gruba kategorize etmektir. Amaç, her bir veri noktasından kümeye olan uzaklığı en aza indirmektir. Burada x bir veri noktasıdır. k küme sayısını gösterir, μ_i ise S_i ’deki noktaların ortalamasıdır (Statistics How to, 2023).

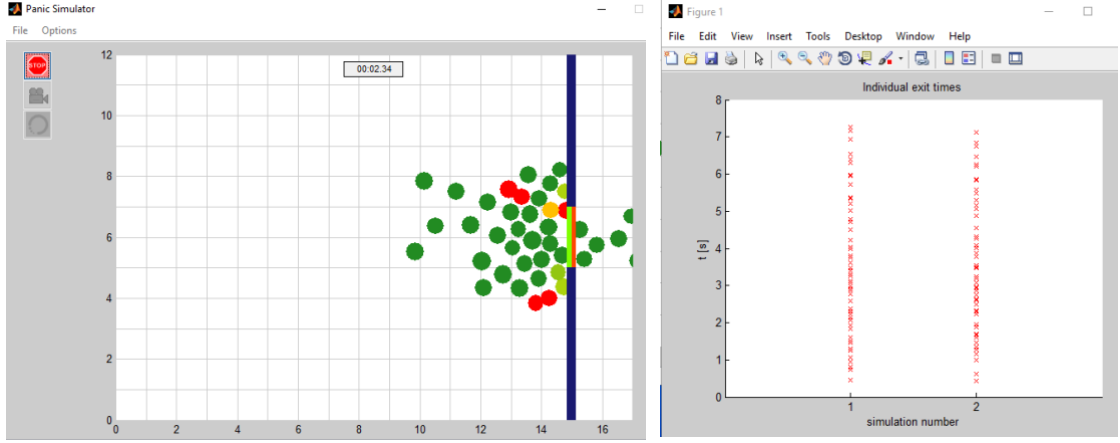
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tahliye planlaması için MATLAB ile çalıştırılan “Panic Simulator” aracı ile farklı senaryolar oluşturulup incelenebilmektedir. Şekil 4.1 Panic Simulator aracını göstermektedir. Panic simulator sosyal kuvvet modelini kullanan bir MATLAB aracıdır. Denemeler yapmak için kullanılmıştır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında sosyal kuvvet modeli MATLAB üzerinde tekrar yazılmıştır ve kişiselleştirilen tahliye senaryoları ve sosyal kuvvet modelinin denemeleri tekrar yapılmıştır.



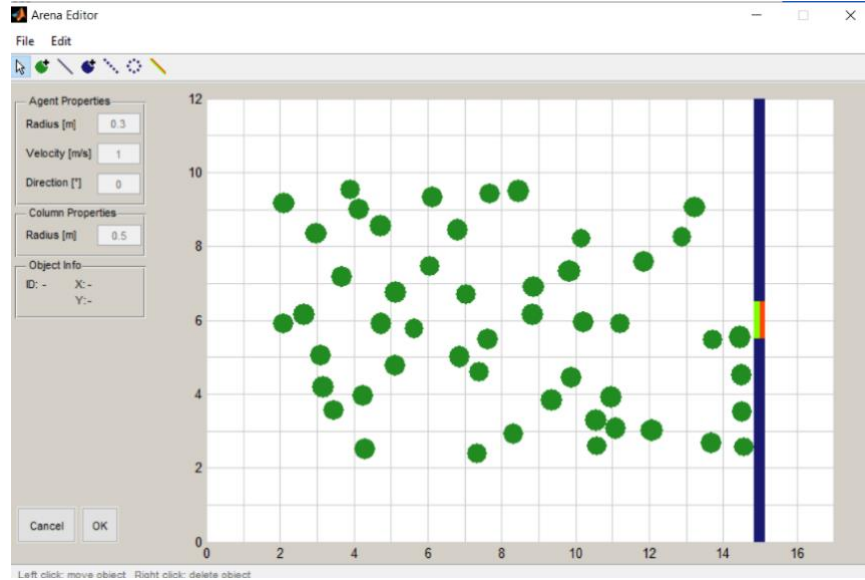
Şekil 4.1. Panic Simulator

Bu araç üzerinde yeşil noktalar kişileri temsil etmektedir, mavi çizgiler duvarları ve yeşil-kırmızı çizgi acil çıkışı göstermektedir. Seçenekler alanında kişilerin sayıları, istenilen koşma hızı, yoğunluk, başlangıç pozisyonu, acil çıkışın genişliğine kadar parametreler belirlenebilmektedir. Farklı senaryolarla oluşturulan çıkışlar için simülatör sonuçları grafiksel olarak verebilmektedir. Şekil 4.2 bir kaçış senaryosu için çıktıları göstermektedir.



Şekil 4.2. Tahliye senaryosu ve kişilerin çıkışlarını gösteren grafik.

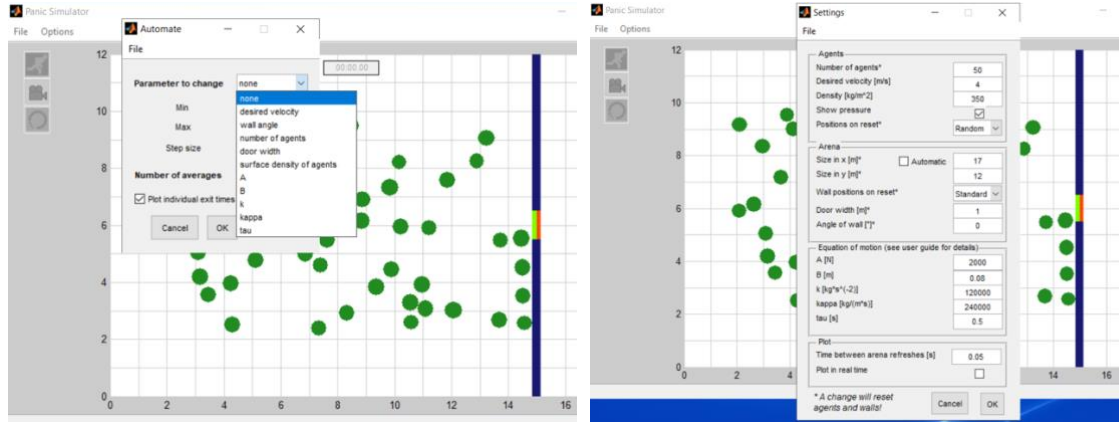
Simülasyon üzerinde kullanılan temel değişkenler kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Bu değişkenler araçlara (iki boyutlu simüle edilmiş bireyler), arenaya (simüle edilen ortam, oda), hareket denklemine ve plot'a ait parametrelerle gruplandırılır. Arena editör ile duvarlar ve çıkış farklı dizayn edilebilmektedir, burada kişiler de istenilen koordinatlara yerleştirilebilmekte ve hızları belirlenebilmektedir. Her birey çıkıştan geçtiği saniyede grafiğe bir "x" parametresi konmakta ve görselleştirilmektedir. Şekil 4.3 Arena editör sayfasını göstermektedir.



Şekil 4.3. Arena editör

Simülasyonun farklı parametreleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Burada otomatikleştirme alanında kişilerin istenilen hızından, duvar açılarına, kişi

sayılarından acil çıkış kapısının genişliğine kadar tüm parametreler belirlenebilmektedir.



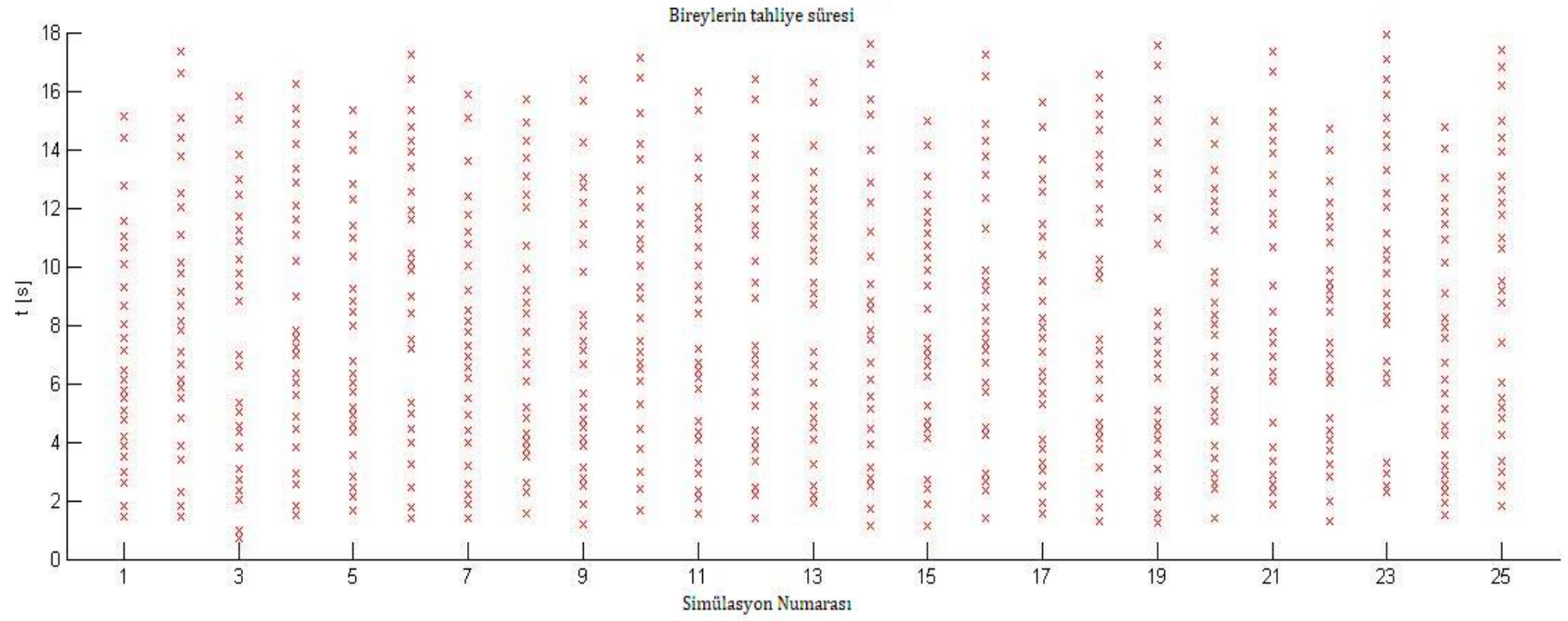
Şekil 4.4. Otomatikleştirme seçenekleri ve simülasyon ayarları

İnsanlar farklı vücut ölçülerine sahip olduklarından, söz konusu faaliyet ve kullanım alanına yönelik mekân ve donanımların şekillendirilmesinde insanların farklı antropometrik ölçüleri (omuz genişliği, diz, kalça, dirsek ve göz yükseklikleri, el ve ayakların uzama ve açılmaları vb. Bu veriler dikkate alınarak mekânın geometrik şekillenmesine yardımcı olunur. Bu çalışmada özel olarak ele alınan iki antropometrik veri bile tasarımcıya, insanların mekânda kapladıkları alan hakkında basitçe bir fikir verebilir. Örneğin, 60 cm omuz genişliğine ve 40 cm vücut derinliğine sahip bir birey 0,24 m²'lik bir alan kaplarken, 45 cm omuz genişliği ve 30 cm vücut derinliği için kapladığı alan 0,13 m²'dir. Sadece iki antropometrik veri dikkate alındığında, bireylerin mekân içinde kapladıkları alanlar neredeyse iki kat farklılaşmaktadır. Bu fark, bireysel kullanımdan ziyade kamusal alan kullanımı göz önünde bulundurulduğunda daha belirgin olacaktır. Bu iki antropometrik verinin iç mekan tasarımına etkisi açıkken, diğer antropometrik verilerin de eklenmesiyle antropometri ve tasarım disiplini arasındaki ilişki netleşmektedir (Erkan, 2020).

Mekanların tasarım aşamasında ya da sonrasında fikir verebilmesi açısından bu verilerden yararlanıp tahliye senaryosu için simülasyon örnekleri oluşturulmuştur. Tahliye senaryosu için kullanılan simülatörler genellikle sabit değerleri almaktadır. Bu simülasyon örneklerinde insan vücut ölçüleri ve hızları

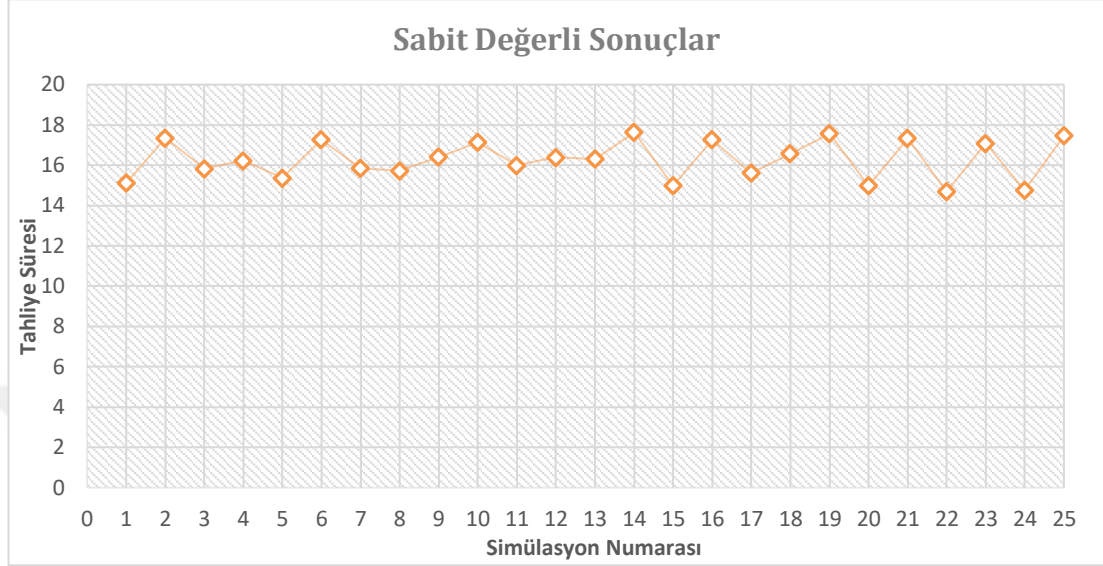
sabit alınır ve hesaplamalar bu parametrelerle yapılır. Bu durum farklılıklara neden olmaktadır. Tahliye planlaması yapılabilmesi için her bireyin ölçölüp hızlarının oranlanarak çıkışlara yönlendirilmesi daha doğru olabilecektir. Farklı vücut büyüklüklerine sahip bireylerin çıkışlardaki darboğazlarda farklı kuvvetler ürettiği görülmüştür. Zaman zaman bu kuvvetlerin çıkışlarda tıkanıklığa ve tahliyenin uzamasına neden olduğu bilinmektedir. Bu tez çalışmasında özelleştirilmiş ve kişiselleştirilmiş tahliye simülasyonları oluşturmak için simülatör tekrar düzenlenmiş ve deneyler yapılmıştır.

Panic simulator üzerinde 25 kişiden oluşan ve sabit vücut büyüklüğü ile sabit hızlarda 12x14 metrelik bir odadan 1 metre genişliğindeki çıkış kapısından tahliye edilmek üzere senaryolar oluşturulmuştur. Deney rastgele koordinatlarla yerleşen 25 birey için 25 kere tekrar edilmiştir. Her Deneyin sonucu kaydedilmiştir. Şekil 4.5 deney sonuçlarını göstermektedir. Bu deneyde her bir bireyin çıkıştan geçtiği saniye “x” ile işaretlenmiştir ve tahliyenin süresi görülmektedir.



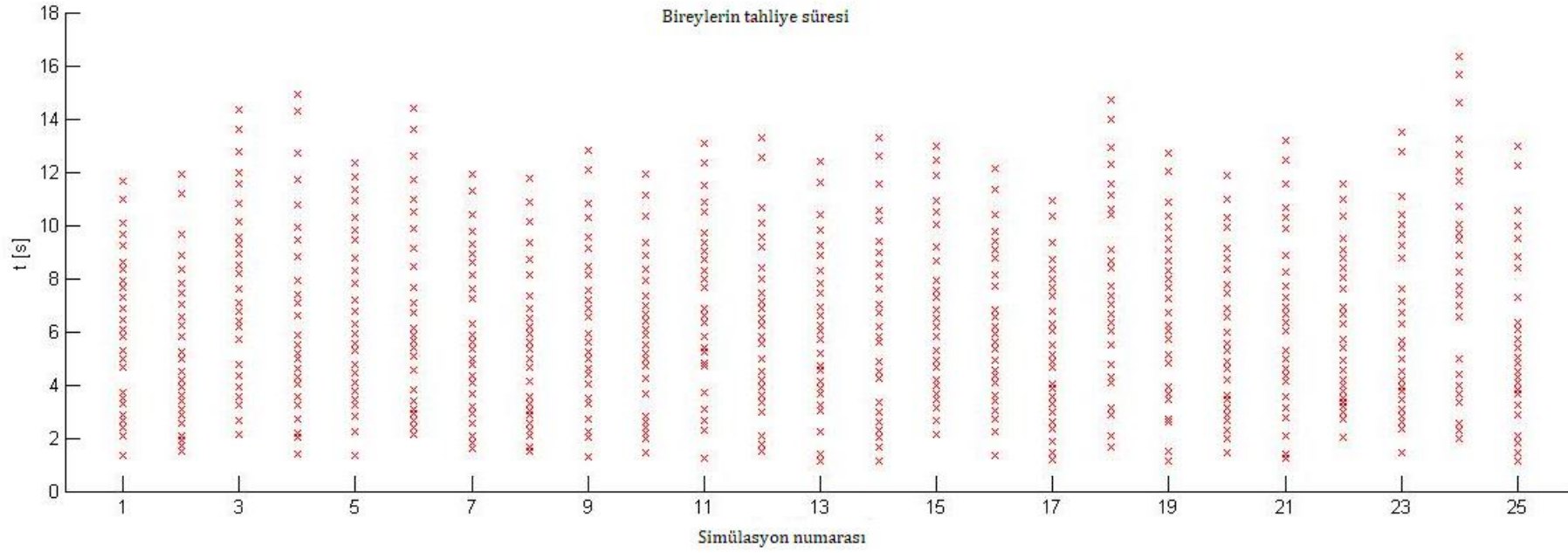
Şekil 4.5. Sabit değerler için tahliye süreleri

Yapılan simülasyonlardan elde edilen veriler ile tahliye süresini Şekil 4.6'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada en düşük tahliye süresi 14,59 saniye, en yüksek tahliye süresi 17,63 saniyedir.



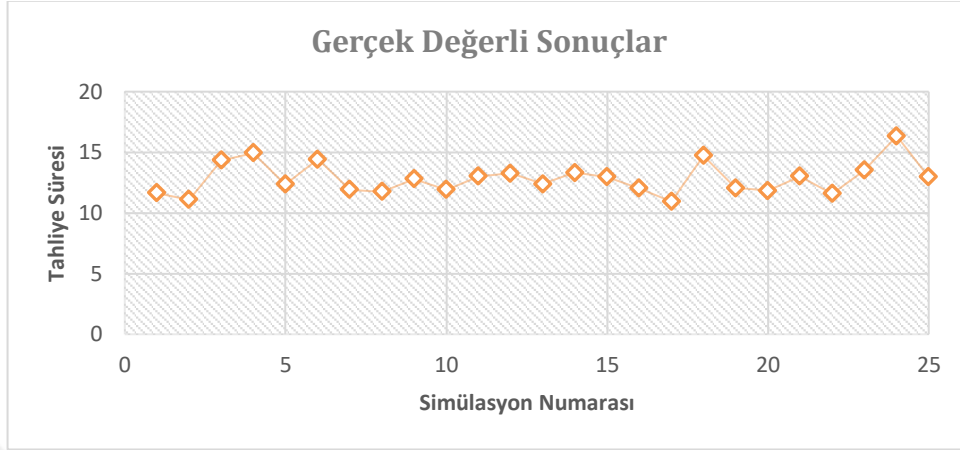
Şekil 4.6. Sabit değerlerle elde edilen tahliye süreleri

Aynı deney koşulları oluşturularak, aynı büyüklükteki oda simülasyon üzerinde gerçek verilerle tekrar edilmiştir. 25 birey için tahliye süreleri Şekil 4.7'deki gibi elde edilmiştir.



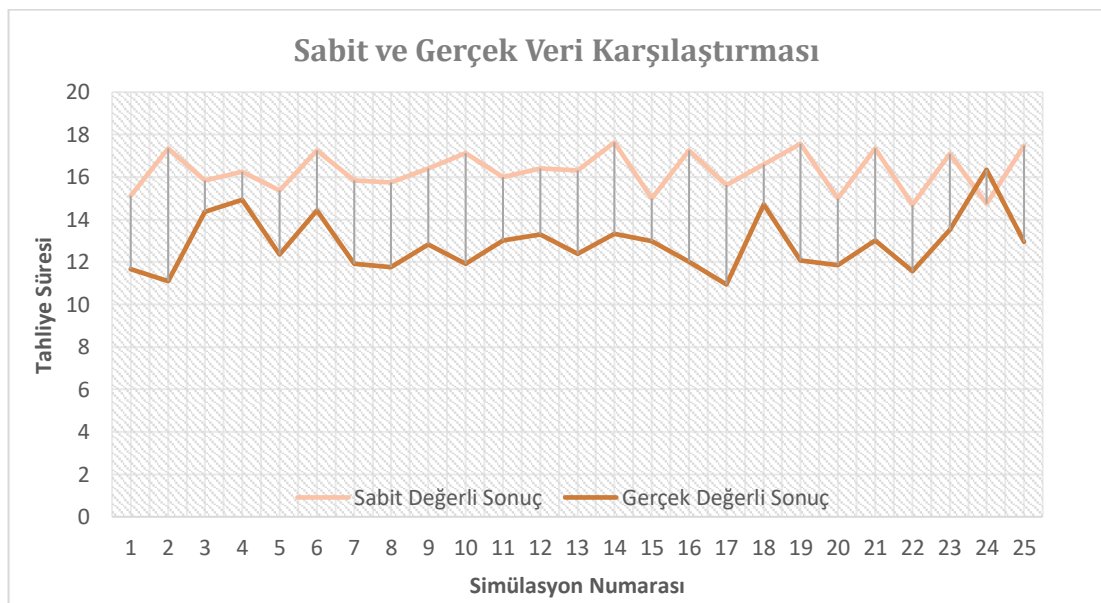
Şekil 4.7. Gerçek değerler için tahliye süreleri

Yapılan simülasyonlardan elde edilen veriler ile tahliye süresini Şekil 4.8’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada en düşük tahliye süresi 10,94 saniye, en yüksek tahliye süresi 16,03 saniyedir.



Şekil 4.8. Gerçek değerler için tahliye süreleri

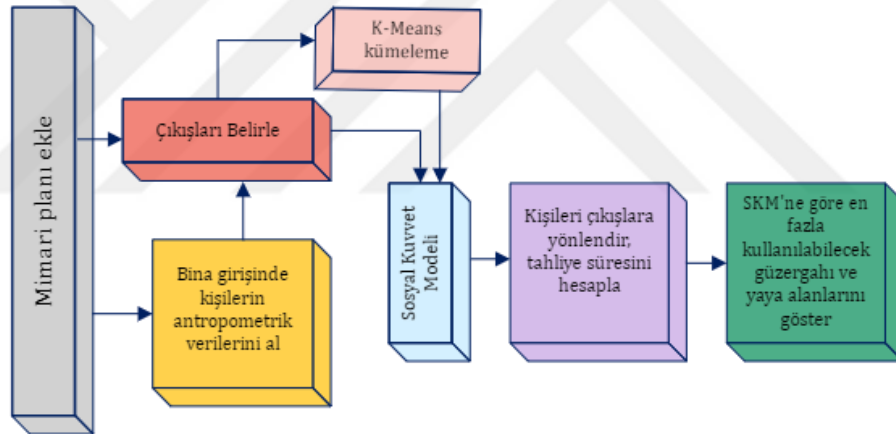
Her iki durumdaki karşılaştırma Şekil 4.9 grafiksel olarak gösterilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere gerçek değerler ve simülasyon değerleri arasında fark bulunmaktadır. Bireyleri sabit olarak kabul ettiğimizde tahliye işlemi için farklı sonuçlar elde etmekteyiz. Bu nedenle elimizde gerçek verilerin elde edilerek tahliyenin oluşturulması tahliye süreci için nispeten en uygun rota planını analiz etmemize ve seçmemize yardımcı olabilir.



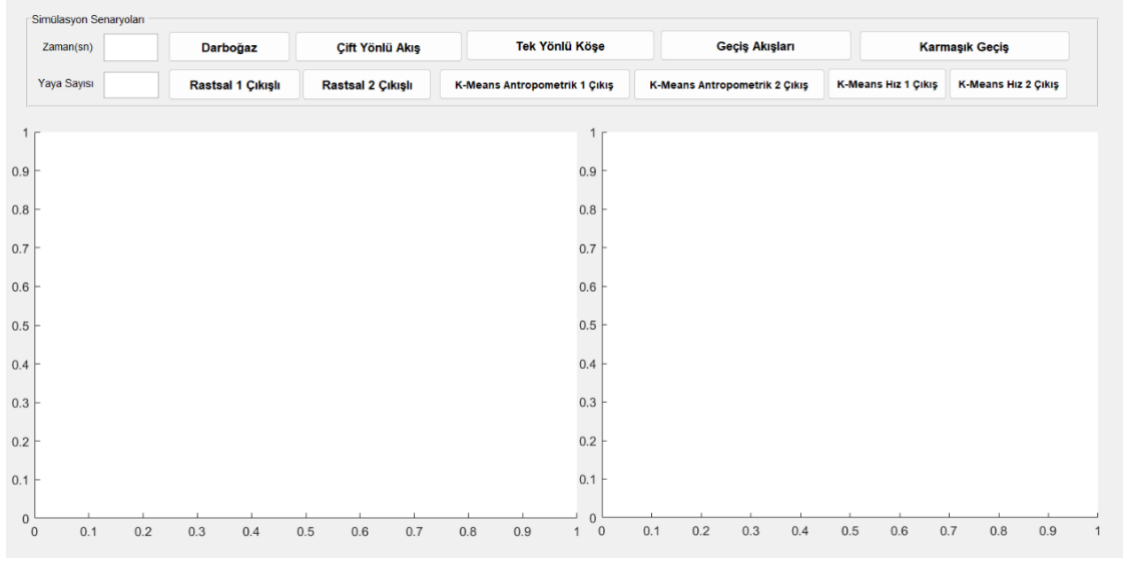
Şekil 4.9. Sabit ve gerçek verilerin tahliye süresinin karşılaştırması

4.1. Sosyal Kuvvet Modeli Temelli Simülasyon

Sosyal kuvvet modeli temelli simülasyon MATLAB ile oluşturulmuş ve işleyişi incelenmiştir. Modelin en fazla kullanıldığı darboğaz, çift yönlü akış, tek yönlü köşe ve geçiş akışları ve karmaşık geçiş senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar içinde simülasyonlar çalıştırılmış, rastgele yerleşen yayaların kaçışı izlenmiştir. Simülasyon içinde her bir yayanın vücut büyüklüğü bina girişinde ölçüldüğü varsayılmış ve gerçek veri parametreleri kullanılmıştır. Senaryoların her biri için simülasyon çalışma zamanı ve yaya sayısı girildikten sonra çalıştırıldığında yayaların hareket ettiği yollar çizilir ve en çok izlenen yol kaydedilir. Böylelikle her bir senaryo için tahliye planının yolu oluşturulur. Şekil 4.10 simülasyonun blok şemasını, Şekil 4.11 simülasyon arayüzünü göstermektedir.

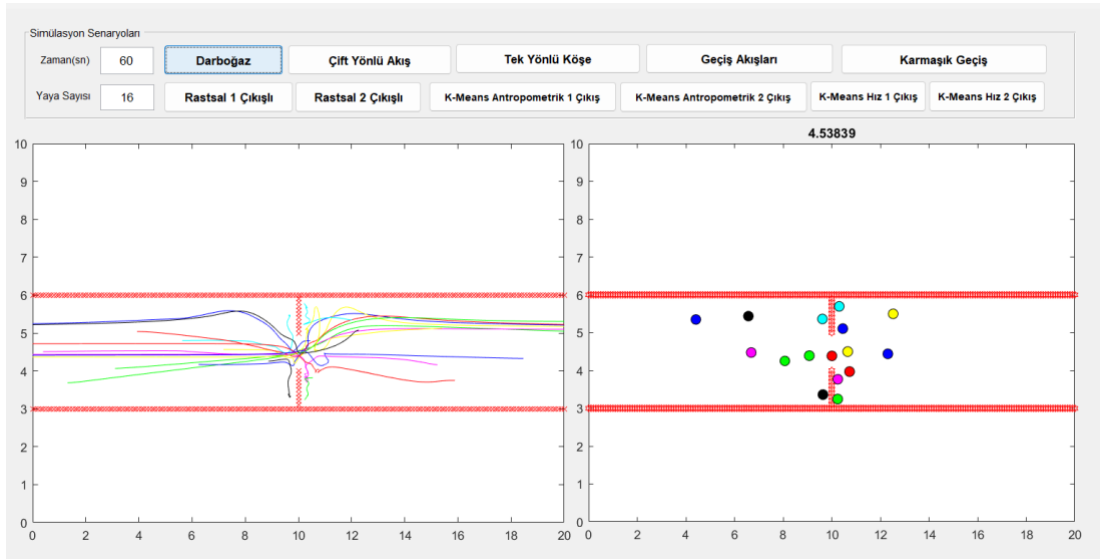


Şekil 4.10. Simülasyon blok şeması



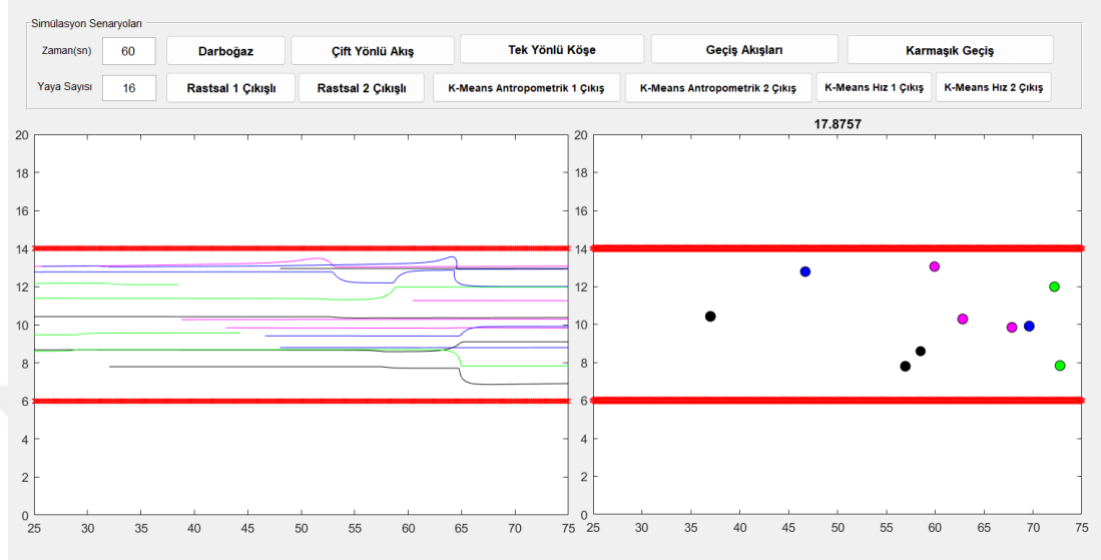
Şekil 4.11. Simülasyon arayüzü

Simülasyon arayüzünün sol kısmında yer alan grafikte yayaların geçişlerinde izledikleri yol çizilmektedir. Sağ kısmında yer alan grafikte ise yayaların hareketleri izlenebilmektedir. Ayrıca x ve y koordinatları da odanın ya da geçiş alanının boyutunu metre olarak göstermektedir. Darboğaz senaryosu çalıştırıldığında simülasyon görüntüsü Şekil 4.12’de görüldüğü gibi çalışmaktadır. Bu simülasyon 60 saniye çalıştırılmış ve 16 kişinin 1 metrelik darboğazdan geçişleri gösterilmiştir.



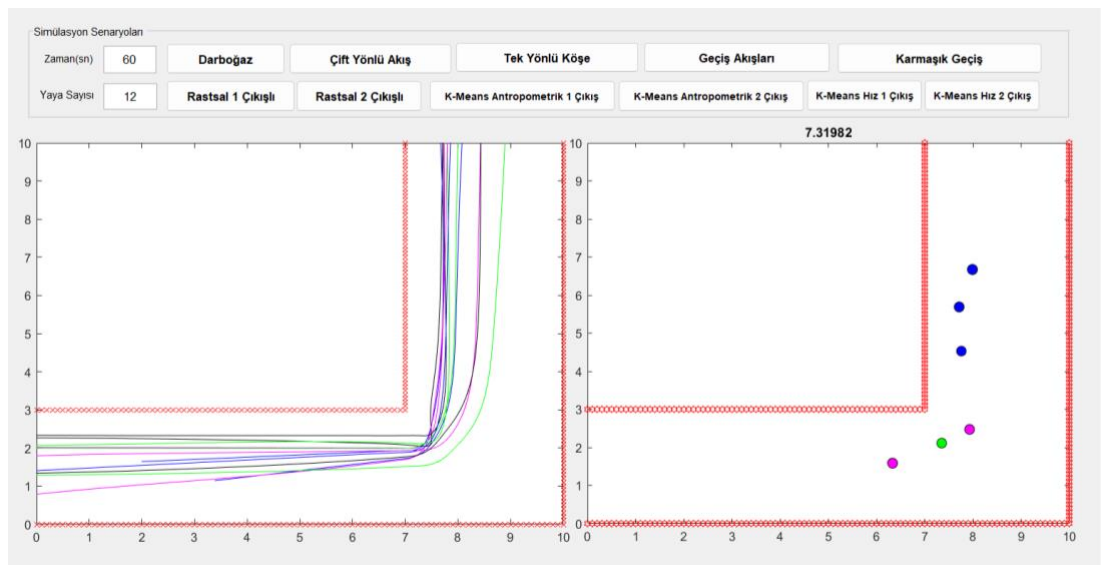
Şekil 4.12. Simülasyon Arayüzü

Çift yönlü akış için gerçekleştirilen ikinci simülasyon Şekil 4.13'te görülmektedir. Bu senaryoda karşılıklı birbirlerine koşan yayaların hareketi gözlenmektedir.



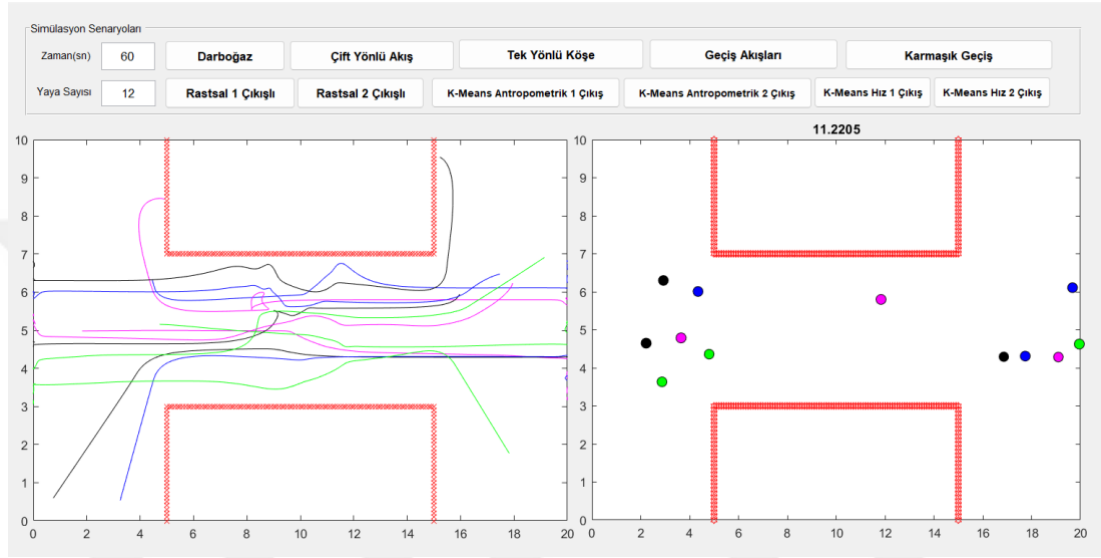
Şekil 4.13. Çift yönlü akış senaryosunun simülasyon görüntüsü

Tek yönlü köşe için gerçekleştirilen ikinci simülasyon Şekil 4.14'te görülmektedir. Bu senaryoda bir odadan çıkan yayalar çıkışa doğru tek yönde koşmaktadır. Aynı zamanda duvarlarla olan etkileşim kuvvetleri ile yayaların hem kendi aralarında hem de duvarlarla olan etkileşimleri gözlenebilmektedir.



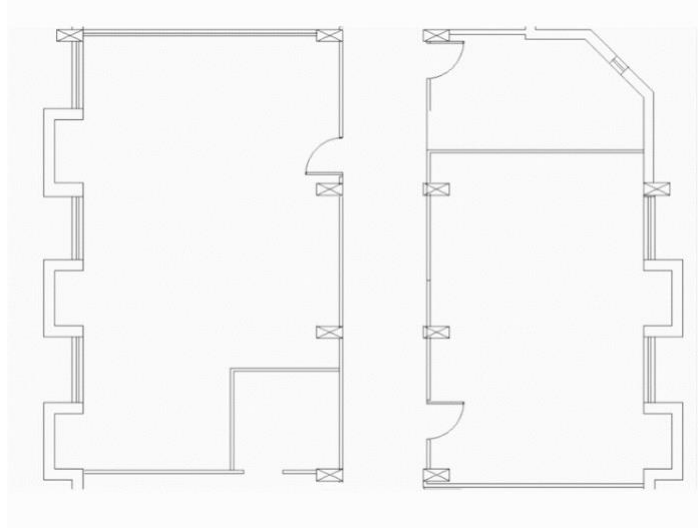
Şekil 4.14. Tek yönlü köşe senaryosunun simülasyon görüntüsü

Geçiş akışları için gerçekleştirilen ikinci simülasyon Şekil 4.15'te görülmektedir. Bu senaryoda farklı odalardan çıkan yayalar çıkışa doğru farklı yönlerde koşmaktadır. Aynı zamanda duvarlarla olan etkileşim kuvvetleri ile yayaların hem kendi aralarında hem de duvarlarla olan etkileşimleri gözlenebilmektedir. Bu alanda 4 çıkış gibi görünen duvarlar arasında köşe geçişleri ve düz bir koridor olan bir alan simüle edilmektedir.



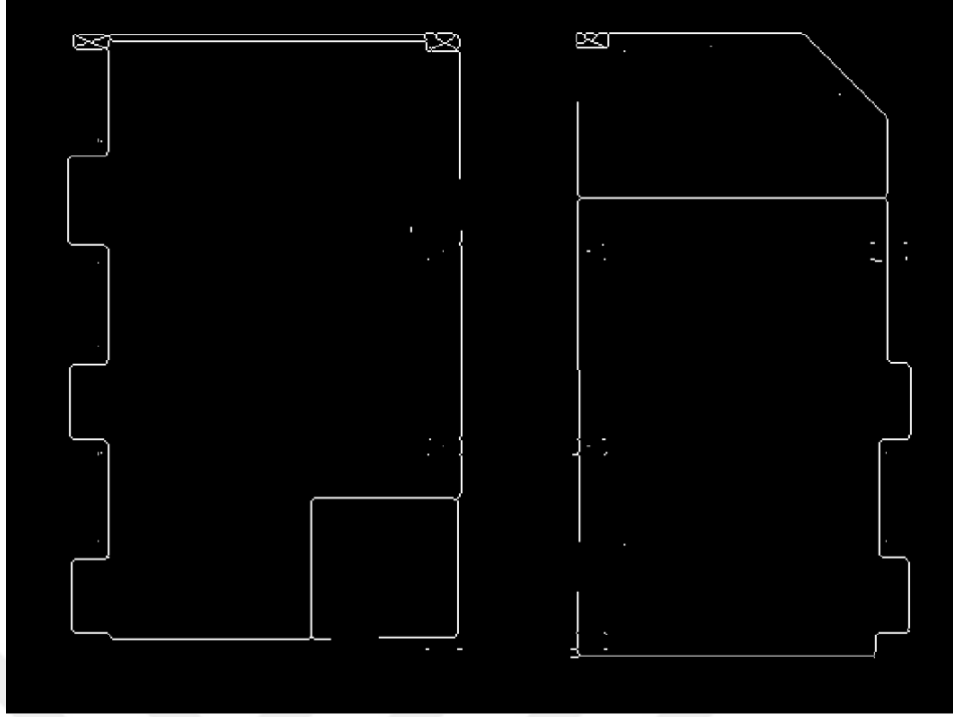
Şekil 4.15. Geçiş akışları senaryosunun simülasyon görüntüsü

Simülasyonların çalışmasının ardından gerçek verilerle oluşturulan senaryolar oluşturulmuştur. Antropometrik verilerinin alındığı kişilerin listesi simülasyon içindeki değişkenlere aktarılmıştır. Burada her bir kişinin kendi vücut ölçüsü kullanılmış ve bu büyüklüklere göre ölçeklendirilmiş koşma hızları hesaplamalara eklenmiştir. Hesaplamaların ardından bir mimari planın dışarıdan alınıp uygulanması denenmiştir. MATLAB içinde planın resim dosyası olarak alınması sağlanmıştır. Mimari planın sınırları oluşturulmuş, kişiler rastgele plan içinde herhangi bir konumda olduğu varsayılacak şekilde eklenmiştir. Şekil 4.16'da Maheshwari ve Rajan (2016) yaptıkları çalışmalarından örnek bir mimari plan alınmış ve çizimin duvar sınırları, kapı yerleşimleri simülasyon içine aktararak verileri alınmıştır.

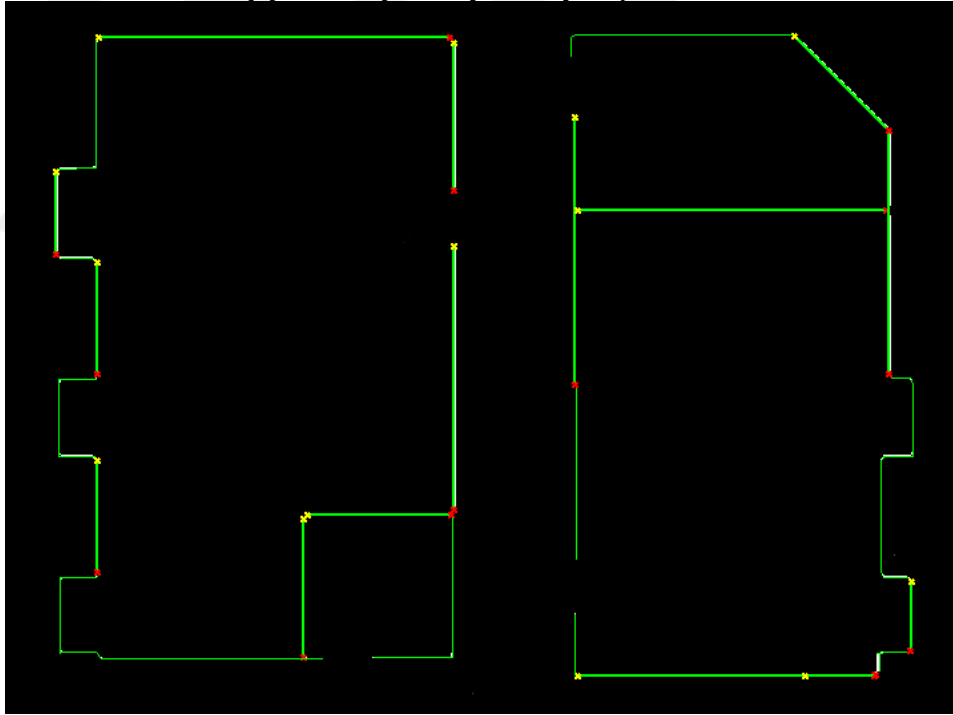


Şekil 4.16. Odaları ve bir koridoru gösteren kat planının bir parçası (Maheshwari ve Rajan, 2016)

Simülasyona aktarılan planın binary olarak gösterilmesi sağlanmıştır. Sınırlar ve geçişler belirlenerek plan eklenmiştir. Şekil 4.17(a) siyah-beyaz planı, Şekil 4.17(b)'de sınırlar ve duvarlar çizilmiştir.



(a) Örnek plan siyah-beyaz çevrimi

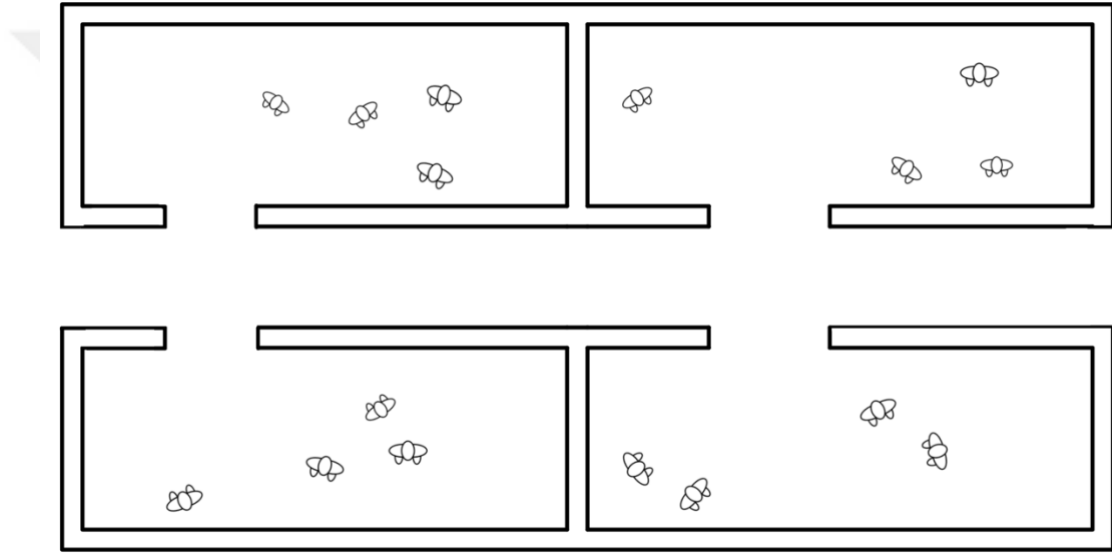


(b) Sınırlar, geçişler ve kapıların çizimi

Şekil 4.17. Örnek plan

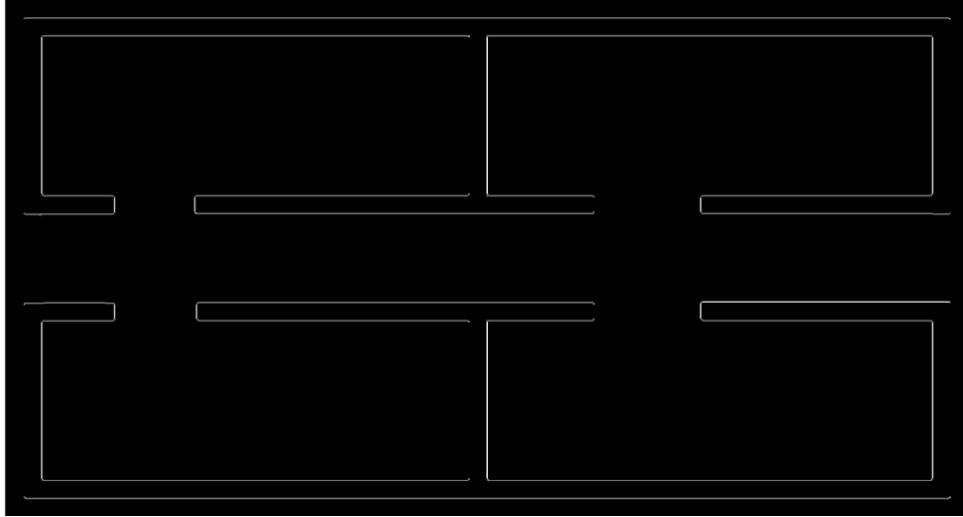
Mimari plan bölümlerinin çıkarılması ile sınırlar farklı matrislere aktarılmıştır ve uygun rotanın çizimi için sosyal kuvvet modeli hesaplamalı simülasyona aktarılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı mimari plan parçası Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Gösterilen plan 20 uzunluğunda ve 2 metre genişliğinde bir koridoru ve temsili olarak rastgele eklenen yayaları göstermektedir. Her bir oda 10x2 metre olarak temsil edilmiştir ve 4 adet eklenmiştir. Simülasyonlar çalıştırıldığında odaların uzunlukları x ve y eksenlerinde gösterilmektedir.

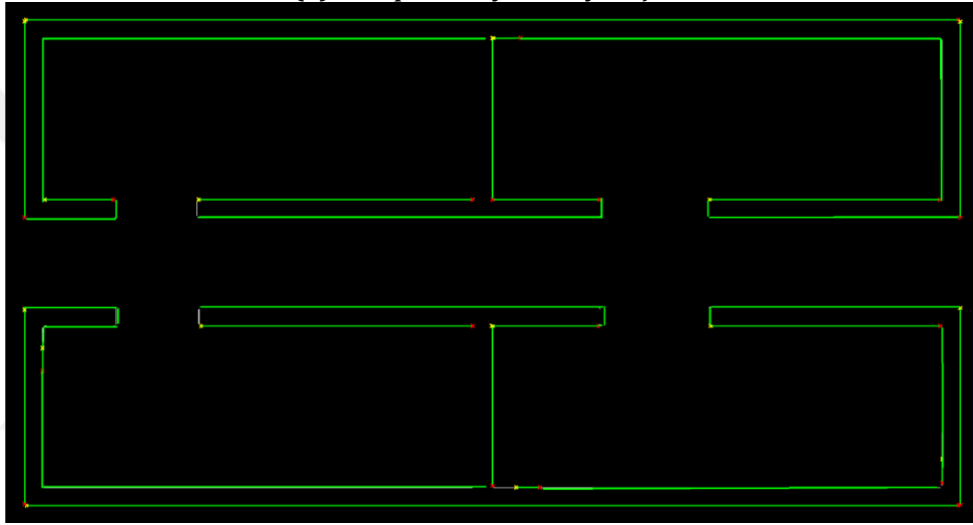


Şekil 4.18. Denemeler için kullanılan mimari plan

Kullanılacak mimari plan için simülasyon içinde sınırları çıkaran fonksiyon uygulanmış ve Şekil 4.19(a), Şekil 4.19(b) elde edilmiştir. Bu şekiller plan içindeki sınırları, kapı yerleşimlerini matris olarak aktarmaktadır. Tahliye senaryoları içindeki denemelerin çalıştırılması için ilk bu adım tamamlanmalıdır.



(a) Kat planı siyah-beyaz çevrimi



(b) Sınırlar, geçişler ve kapıların çizimi

Şekil 4.19. Kat planı sınırlarını çıkarmak için gerekli adımlar

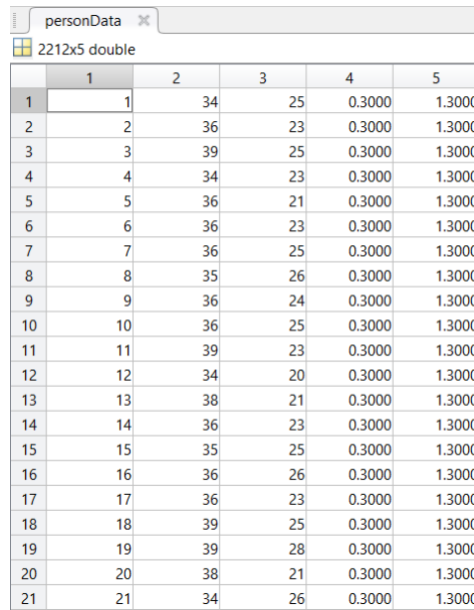
Simülasyon adımlarının tamamlanmasının ardından oluşturulan 4 senaryo ile çalışmalar yapılmıştır. Her bir senaryo içinde 20 farklı deneme yapılarak sonuçlar kaydedilmiş ve karşılaştırılmıştır. Senaryoların oluşturulması ve deneme sonuçları ayrı ayrı açıklanmıştır.

Denemelerin çalıştırılması ile koridorların ve odaların tahliye zamanı, sosyal kuvvet modeline göre en fazla tercih edilen rota ayrı ayrı kaydedilmektedir ve gösterilmektedir. Kişilerin en fazla tercih ettikleri yol sosyal kuvvet modeline göre hesaplanmaktadır ve tasarımcılara bina planı ile ilgili bilgi vermektedir. Acil durum sırasında kişiler en fazla bu yolları kullanabileceklerdir. Bu nedenle

tasarım hakkında fikir vermektedir. Her bir senaryonun denemesi içinde en fazla tercih edilen yollar ayrı ayrı çıkarılmaktadır.

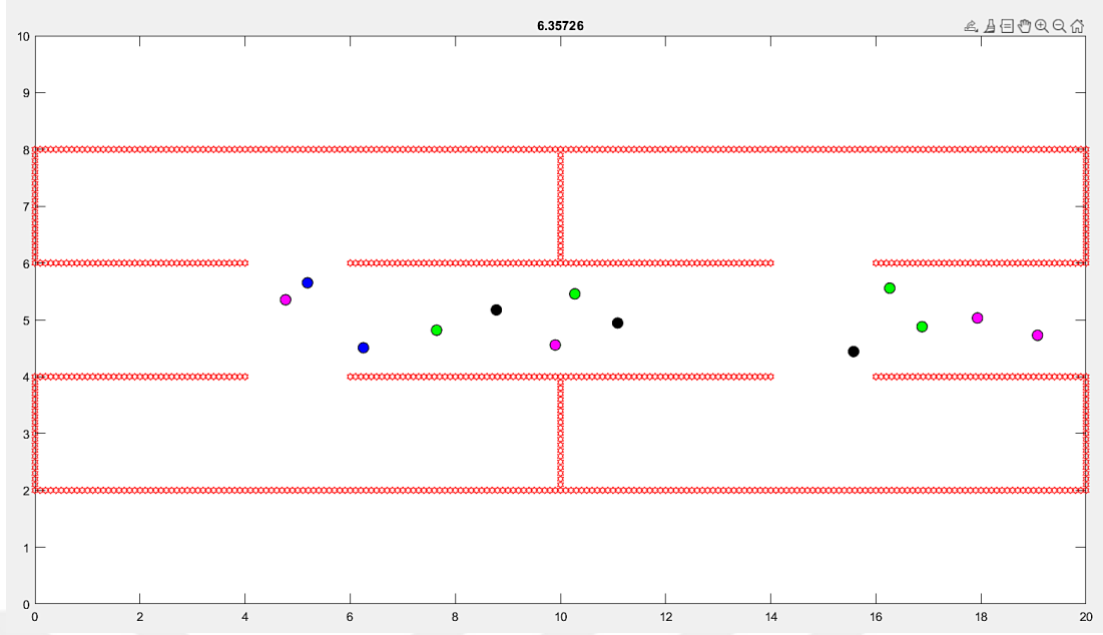
4.2. Senaryo 1'in Çalışması ve Sonuçlar

Tahliye modellemesi için kullanılacak durumlar için ilk olarak senaryo 1 oluşturulmuştur. Burada kişilerin binaya girişlerinde antropometrik verilerinin ölçülmediği ve koşu hızlarının sabit olduğu varsayılmaktadır. Senaryo içinde yapılan 40 denemede kişilerin antropometrik verilerinden bağımsız olarak kapladıkları alan 0,30 m² ve koşu hızları tamamında 1,3 m/sn olarak sabit kabul edilmiştir. Bu değerler farklı simülasyon yazılımlarında genel olarak kabul edilen ve direkt atanan değerlerdir. Çalıştırılan 20 denemede 16 farklı koordinatta bulunan kişiler önce tek çıkışa yönlendirilmiş ve çıkış süreleri kaydedilmiştir. Daha sonra kişiler iki çıkışa yönlendirilmiş ve çıkış süreleri tekrar kaydedilmiştir. MATLAB içindeki örnek verileri Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Burada 1. sütun kişilerin sıra numarasını, 2. sütun omuz genişliğini, 3. sütun vücut derinliğini, 4. sütun kişilerin kapladığı alanı (m²), 5. sütun koşu hızını göstermektedir. Şekil 4.21'de tek çıkış için çalışan simülasyonun görüntüsü gösterilmiştir.



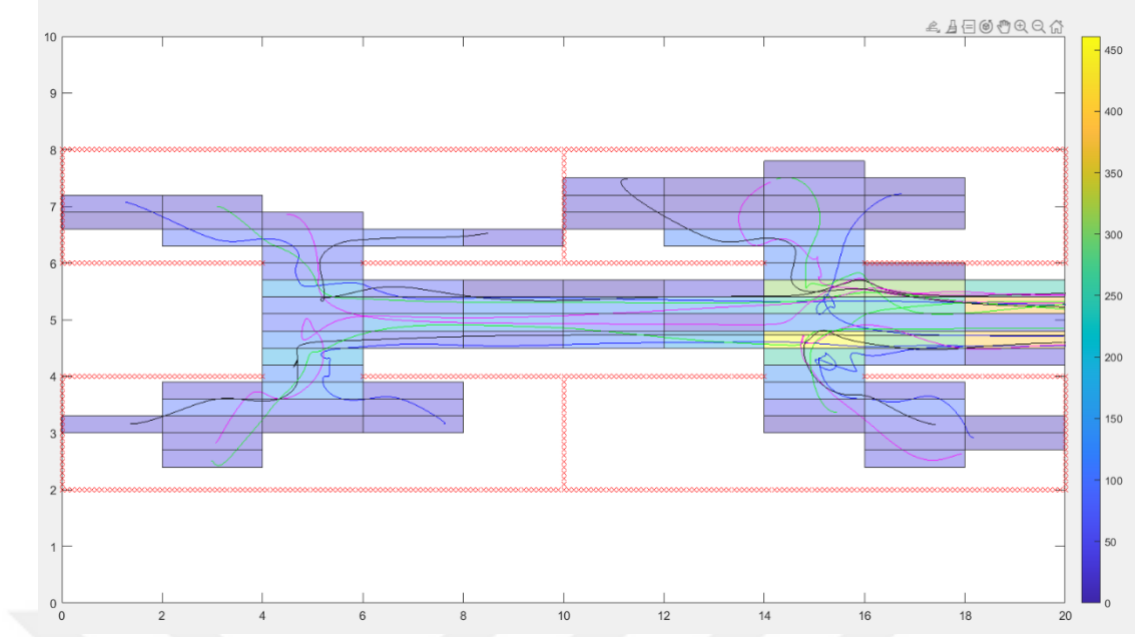
	1	2	3	4	5
1	1	34	25	0.3000	1.3000
2	2	36	23	0.3000	1.3000
3	3	39	25	0.3000	1.3000
4	4	34	23	0.3000	1.3000
5	5	36	21	0.3000	1.3000
6	6	36	23	0.3000	1.3000
7	7	36	25	0.3000	1.3000
8	8	35	26	0.3000	1.3000
9	9	36	24	0.3000	1.3000
10	10	36	25	0.3000	1.3000
11	11	39	23	0.3000	1.3000
12	12	34	20	0.3000	1.3000
13	13	38	21	0.3000	1.3000
14	14	36	23	0.3000	1.3000
15	15	35	25	0.3000	1.3000
16	16	36	26	0.3000	1.3000
17	17	36	23	0.3000	1.3000
18	18	39	25	0.3000	1.3000
19	19	39	28	0.3000	1.3000
20	20	38	21	0.3000	1.3000
21	21	34	26	0.3000	1.3000

Şekil 4.20. Senaryo 1 denemelerinde kullanılan verilerin bir kısmı

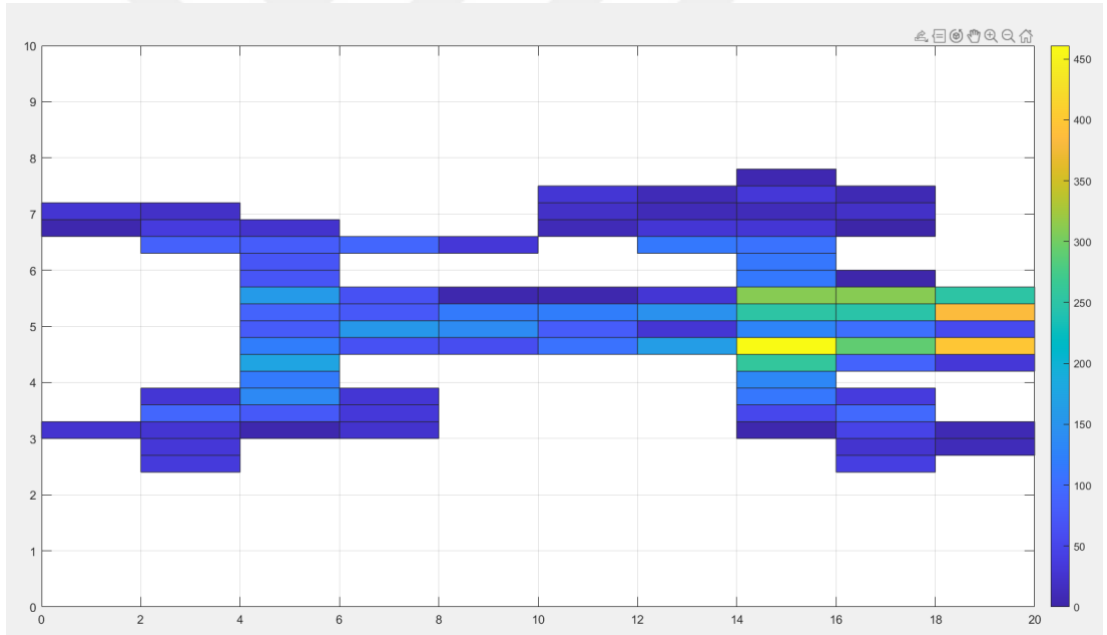


Şekil 4.21. Senaryo 1 denemesinde çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon

Simülasyon çalıştıktan sonra en üstte çalışma süresi saniye olarak gösterilmektedir. Ayrıca tek çıkış olarak belirtilen denemelerde yayalar sağdaki kapıya yönelmektedir. Şekil 4.22 deneme üzerinde en fazla kullanılabilecek geçiş yollarını göstermektedir. Burada yayaların tahliye sırasında izledikleri yollara göre sayısal değerleri artan değerler görülmektedir. Plan üzerine aktarılan histogramla sıcak renklerle renklendirilen alanlar yayaların en fazla tercih edecekleri yolları göstermektedir. Ne kadar çok yaya bu yol üzerinden geçtiyse renk o kadar fazla sığa yaklaşmaktadır. Ayrıca sosyal kuvvet modeline göre tahliye yolları çizgilerle belirtilmektedir. Şekil 4.23'te tahliye yollarının çizilmediği, mimari plan içinde acil durumda en fazla kullanılacak alanlar ayrı gösterilmiştir. Burada da sıcak renkler yüksek sayısal değerleri ifade etmektedir ve ne kadar çok yaya bu alanı kullandıysa değeri bu oranda yükselmektedir.

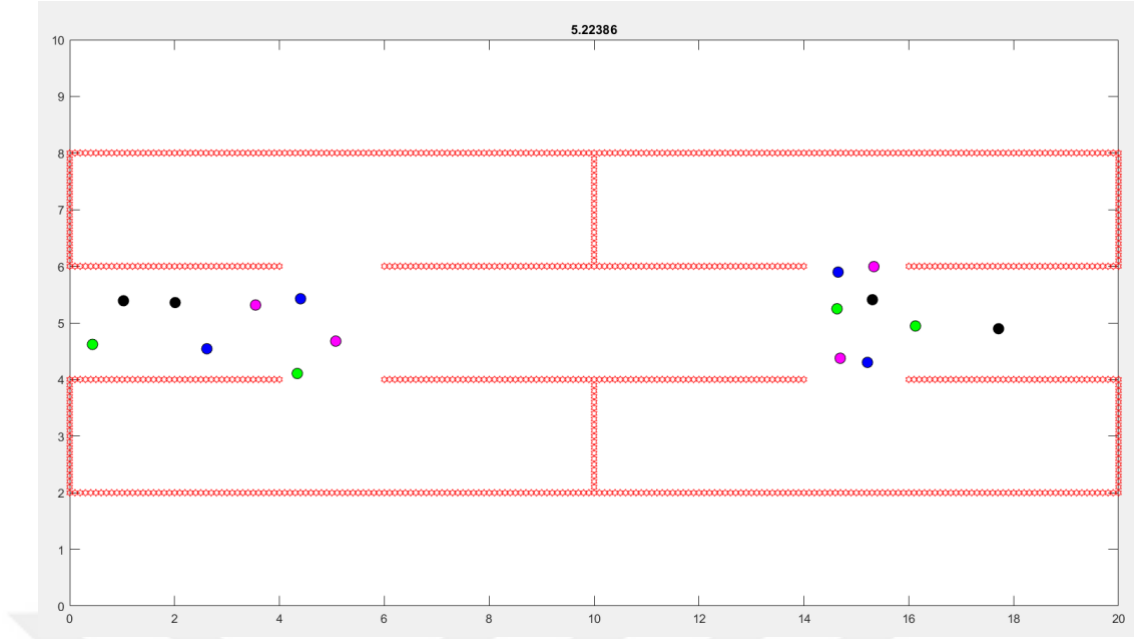


Şekil 4.22. Senaryo 1 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları

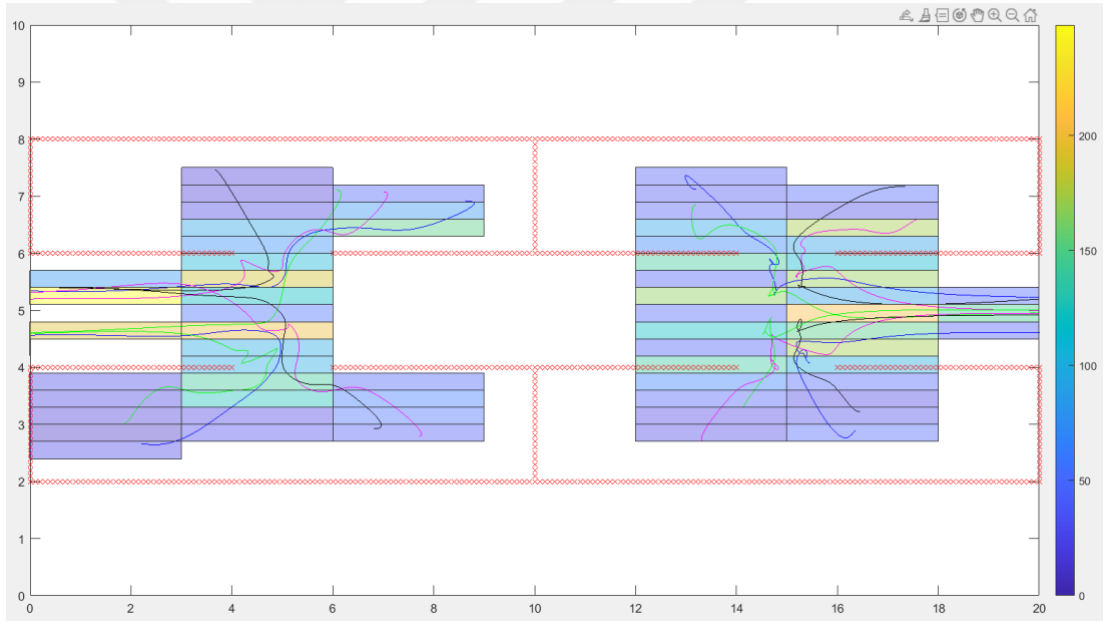


Şekil 4.23. Senaryo 1 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları

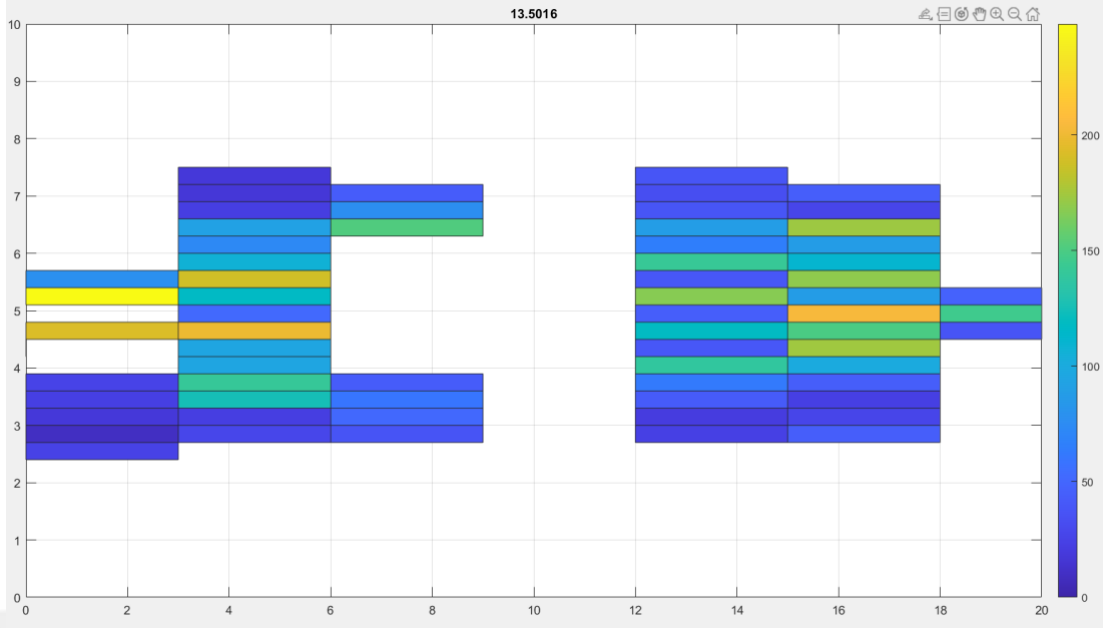
Senaryo 1 için 20 deneme iki çıkışlı tahliye için de çalıştırılmıştır. Şekil 4.24 Senaryo 1 için iki çıkışlı tahliye simülasyonunu göstermektedir. Şekil 4.25 sosyal kuvvet modeline göre en fazla kullanılacak yaya yollarını göstermektedir. Şekil 4.26 iki ise mimari planda tahliye anında en fazla kullanılacak yaya alanlarını göstermektedir.



Şekil 4.24. Senaryo 1 denemesinde çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon



Şekil 4.25. Senaryo 1 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları



Şekil 4.26. Senaryo 1 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları

40 denemenin çalıştırılmasının ardından Çizelge 4.1 elde edilmiştir. Bu çizelge içinde her bir denemede simülasyonun tahliye süreleri tek çıkış ve iki çıkış için ayrı ayrı gösterilmiştir. Toplam ve ortalama tahliye süreleri de hesaplanmıştır. “Rastsal tek çıkış sabit değerli” ifadesi yayaların vücut büyüklüğünün ve koşu hızlarının sabit alındığı, senaryo 1 içinde odalara rastgele yerleştikleri ve tek çıkıştan tahliye olduklarını belirtmektedir. “Rastsal iki çıkış sabit değerli” ifadesi yayaların vücut büyüklüğünün ve koşu hızlarının sabit alındığı, senaryo 1 içinde odalara rastgele yerleştikleri ve iki çıkıştan tahliye olduklarını belirtmektedir.

Çizelge 4.1. Senaryo 1 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)

Deneme	Rastsal Tek Çıkış Sabit Değerli (sn)	Rastsal İki Çıkış Sabit Değerli (sn)
1	16,32	11,53
2	16,01	9,00
3	15,44	8,91
4	15,12	9,31
5	15,90	9,32
6	16,60	8,93
7	16,71	10,11
8	17,66	9,77
9	16,83	10,95
10	16,44	10,54
11	17,17	9,62
12	15,80	13,81
13	15,41	10,14
14	16,33	9,72
15	16,58	10,61
16	16,18	9,53
17	15,80	9,48
18	16,55	8,75
19	16,10	9,24
20	16,22	9,88
Ortalama Süre	16,26	10,01
Toplam Süre	325,17	190,15

Çizelge 4.1'e göre kişilerin tahliyesi 20 senaryo için tek çıkışlı tahliye toplam 325,13 sn, ortalama 16,26 sn olarak hesaplanmıştır. İki çıkışlı tahliye toplam 190,15 sn, ortalama 10,01 sn olarak hesaplanmıştır.

4.3. Senaryo 2'nin Çalışması ve Sonuçlar

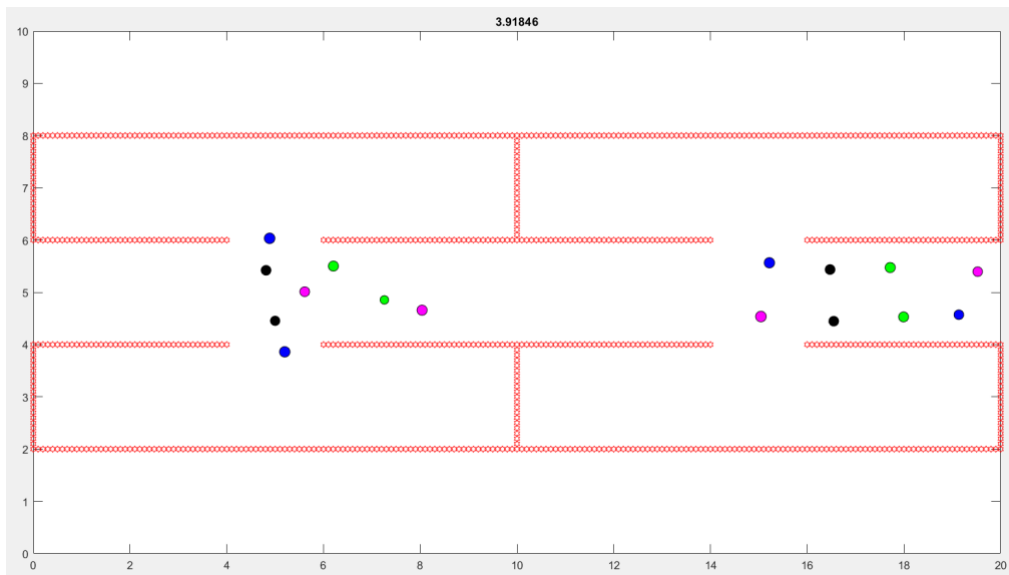
Tahliye planlamasının farklı durumlarını incelemek için senaryo 2 oluşturulmuştur. Burada kişilerin binaya girişlerinde antropometrik ölçülüp kaydedildiği ve koşu hızlarının bu verilere göre ölçeklendirildiği varsayılmaktadır. Senaryo içinde yapılan 40 denemede kişilerin antropometrik verileri daha önceden elde edilen verilerden kullanılmıştır. Bu senaryo içinde çalışan 20 denemede 16 farklı koordinatta bulunan kişiler önce tek çıkışa yönlendirilmiş ve çıkış süreleri kaydedilmiştir. Daha sonra kişiler iki çıkışa

yönlendirilmiş ve çıkış süreleri tekrar kaydedilmiştir. MATLAB içindeki örnek verileri Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

Burada 4. sütun kişilerin kapladığı alanı (m^2), 5. sütun koşu hızını göstermektedir. Şekil 4.28’de tek çıkış için çalışan simülasyonun görüntüsü gösterilmiştir. Simülasyonlar görülen daire simgeleri yayaları temsil etmektedir ve kapladıkları alana göre değerleri değişmektedir.

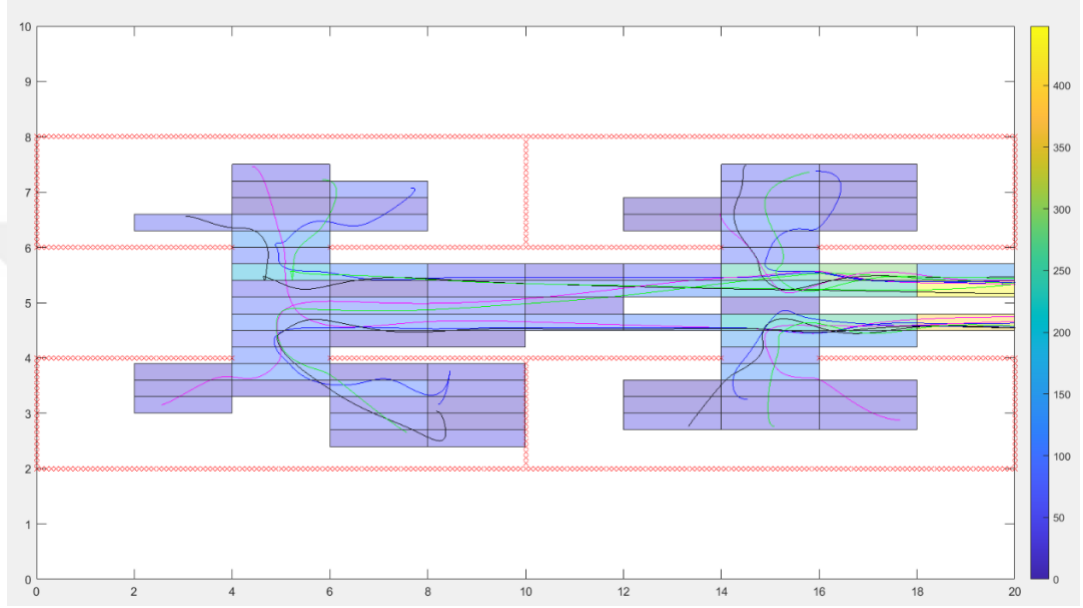
	1	2	3	4	5
1	1	34	25	0.2915	1.5731
2	2	36	23	0.2877	1.6017
3	3	39	25	0.3122	1.4104
4	4	34	23	0.2796	1.6616
5	5	36	21	0.2750	1.6954
6	6	36	23	0.2877	1.6017
7	7	36	25	0.3000	1.5080
8	8	35	26	0.3017	1.4950
9	9	36	24	0.2939	1.5549
10	10	36	25	0.3000	1.5080
11	11	39	23	0.2995	1.5119
12	12	34	20	0.2608	1.7944
13	13	38	21	0.2825	1.6408
14	14	36	23	0.2877	1.6017
15	15	35	25	0.2958	1.5406
16	16	36	26	0.3059	1.4612
17	17	36	23	0.2877	1.6017
18	18	39	25	0.3122	1.4104
19	19	39	28	0.3305	1.2581
20	20	38	21	0.2825	1.6408
21	21	34	26	0.2973	1.5289

Şekil 4.27. Senaryo 2 denemelerinde kullanılan verilerin bir kısmı

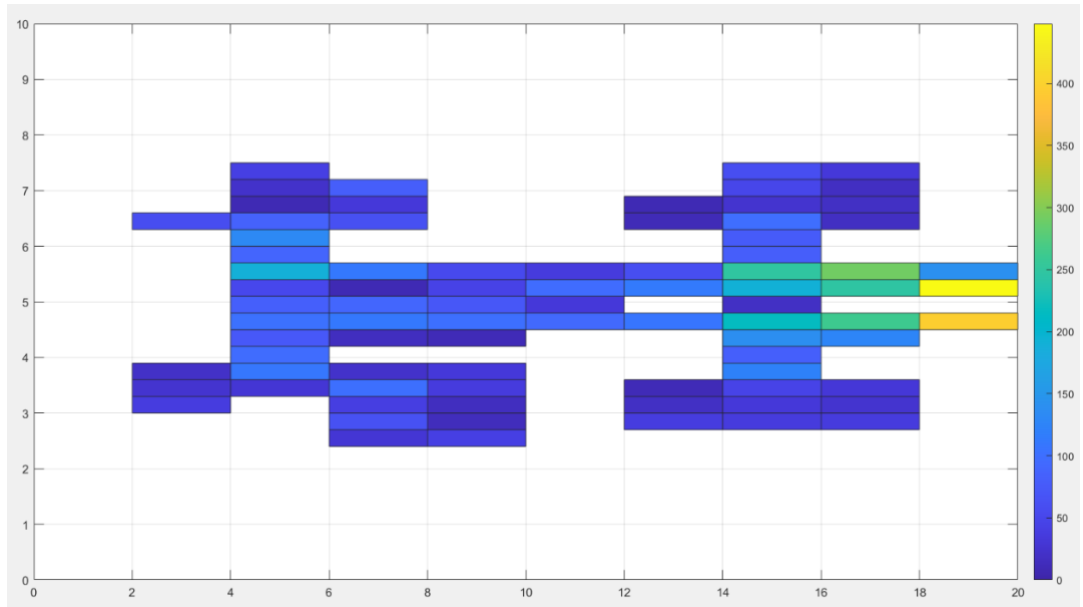


Şekil 4.28. Senaryo 2 denemesinde çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon

Şekil 4.29 deneme üzerinde en fazla kullanılabilir geçiş yollarını göstermektedir. Burada yayaların tahliye sırasında izledikleri yollara göre sayısal değerleri artan değerler görülmektedir. Sosyal kuvvet modeline göre tahliye yolları çizgilerle belirtilmektedir. Şekil 4.30'da tahliye yollarının çizilmediği, mimari plan içinde acil durumda en fazla kullanılacak alanlar ayrı gösterilmiştir.

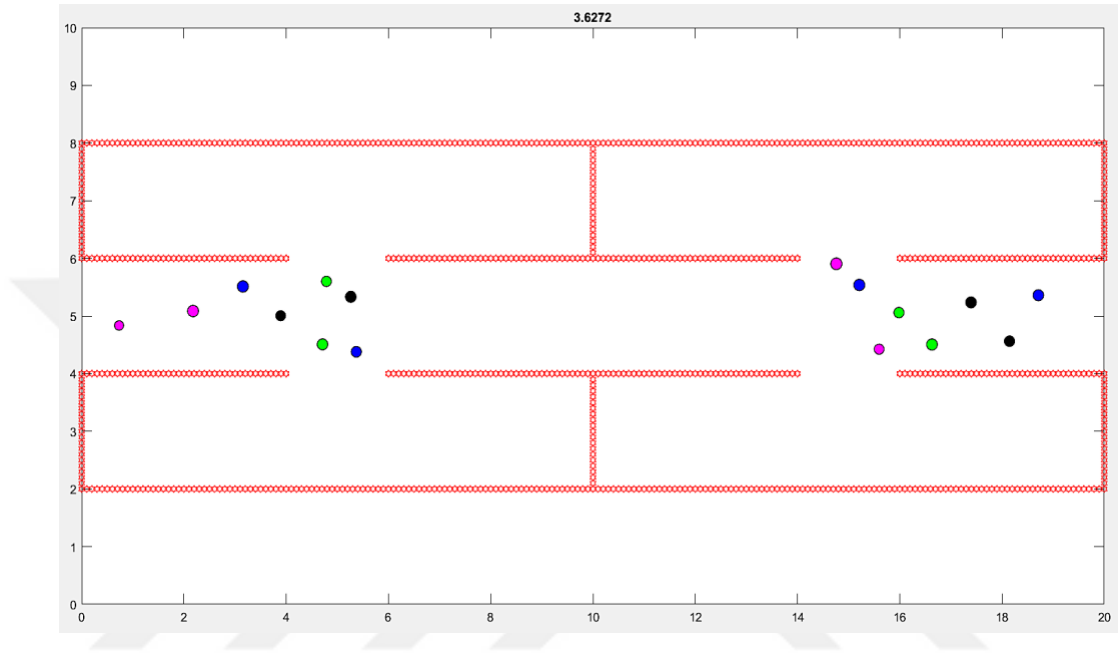


Şekil 4.29. Senaryo 2 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları

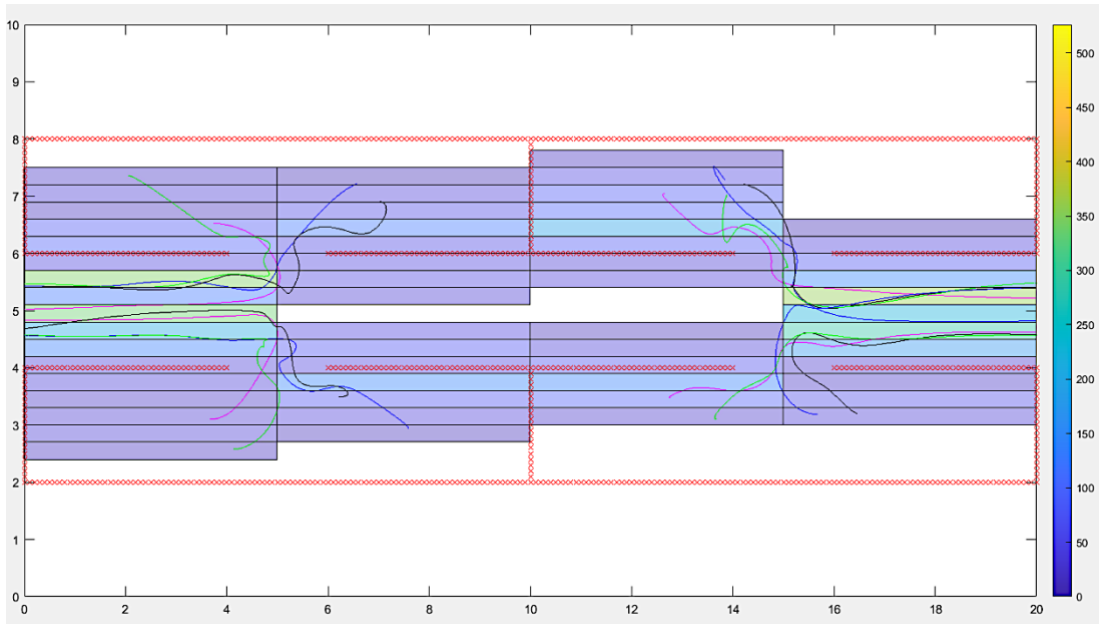


Şekil 4.30. Senaryo 2 denemesinde tek çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları

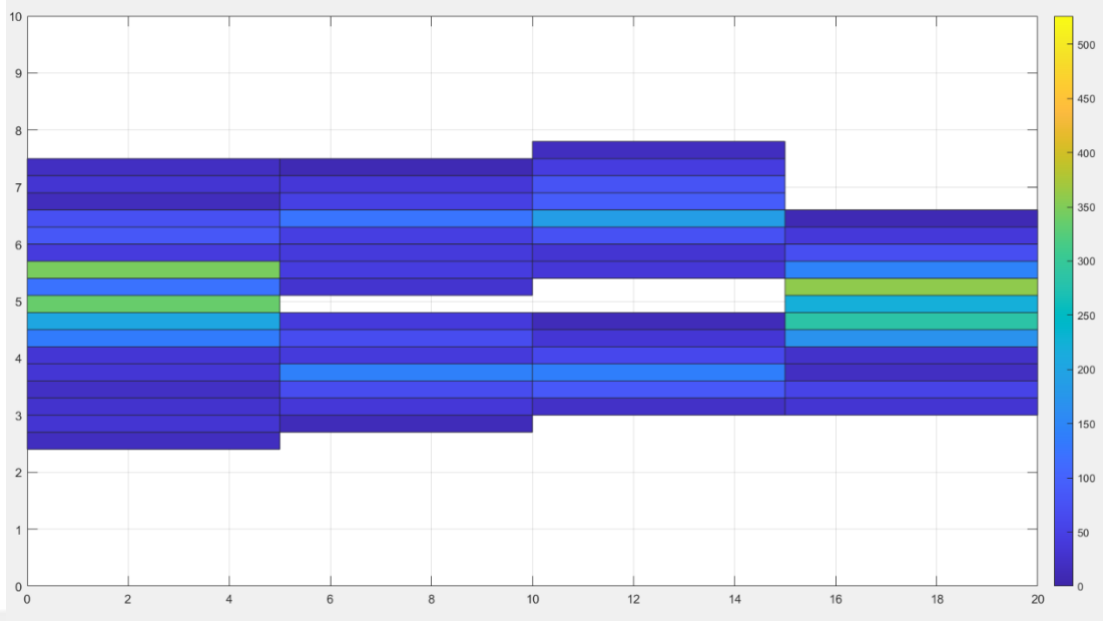
Senaryo 2 için 20 deneme iki çıkışlı tahliye için de ayrı çalıştırılmıştır. Şekil 4.31 Senaryo 2 için iki çıkışlı tahliye simülasyonunu göstermektedir. Şekil 4.32 sosyal kuvvet modeline göre en fazla kullanılacak yaya yollarını göstermektedir. Şekil 4.33 iki ise mimari planda tahliye anında en fazla kullanılacak yaya alanlarını göstermektedir.



Şekil 4.31. Senaryo 2 denemesinde çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon



Şekil 4.32. Senaryo 2 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya yolları



Şekil 4.33. Senaryo 2 denemesinde iki çıkış için en fazla kullanılan yaya alanları

40 denemenin çalıştırılmasının ardından Çizelge 4.2 elde edilmiştir. Bu çizelge içinde her bir denemede simülasyonun tahliye süreleri tek çıkış ve iki çıkış için ayrı ayrı gösterilmiştir. Toplam ve ortalama tahliye süreleri de hesaplanmıştır. “Rastsal tek çıkış” ifadesi senaryo 2 içinde odalara rastgele yerleştikleri ve tek çıkıştan tahliye olduklarını belirtmektedir. “Rastsal iki çıkış” ifadesi senaryo 2 içinde odalara rastgele yerleştikleri ve iki çıkıştan tahliye olduklarını belirtmektedir.

Çizelge 4.2. Senaryo 2 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)

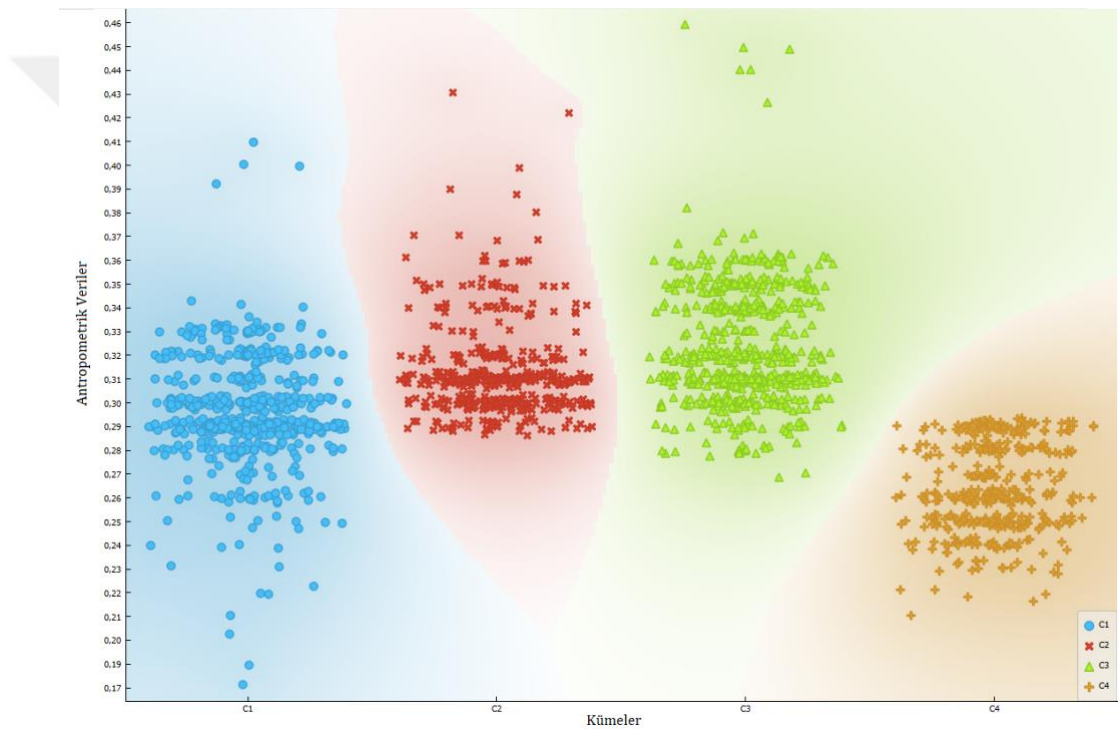
Deneme	Rastsal Tek Çıkış (sn)	Rastsal İki Çıkış (sn)
1	16,19	9,63
2	15,65	8,25
3	15,41	9,46
4	15,48	9,98
5	15,56	10,60
6	16,46	8,15
7	17,30	8,16
8	16,20	9,35
9	15,22	9,36
10	15,44	9,32
11	14,23	8,81
12	14,50	9,54
13	15,10	8,77
14	15,01	10,66
15	14,53	11,69
16	14,67	8,76
17	15,93	10,44
18	16,02	9,64
19	16,29	9,44
20	17,23	8,13
Ortalama Süre	15,62	9,41
Toplam Süre	312,42	188,14

Çizelge 4.2'ye göre kişilerin tahliyesi 20 senaryo için tek çıkışlı tahliye toplam 312,42 sn, ortalama 15,62 sn olarak hesaplanmıştır. İki çıkışlı tahliye toplam 188,14 sn, ortalama 9,41 sn olarak hesaplanmıştır. Buradaki veriler binaya giriş sırasında insanların ölçülmesinin tahliye zamanına olumlu bir iyileştirme yaptığı görülmektedir.

4.4. Senaryo 3'ün Çalışması ve Sonuçlar

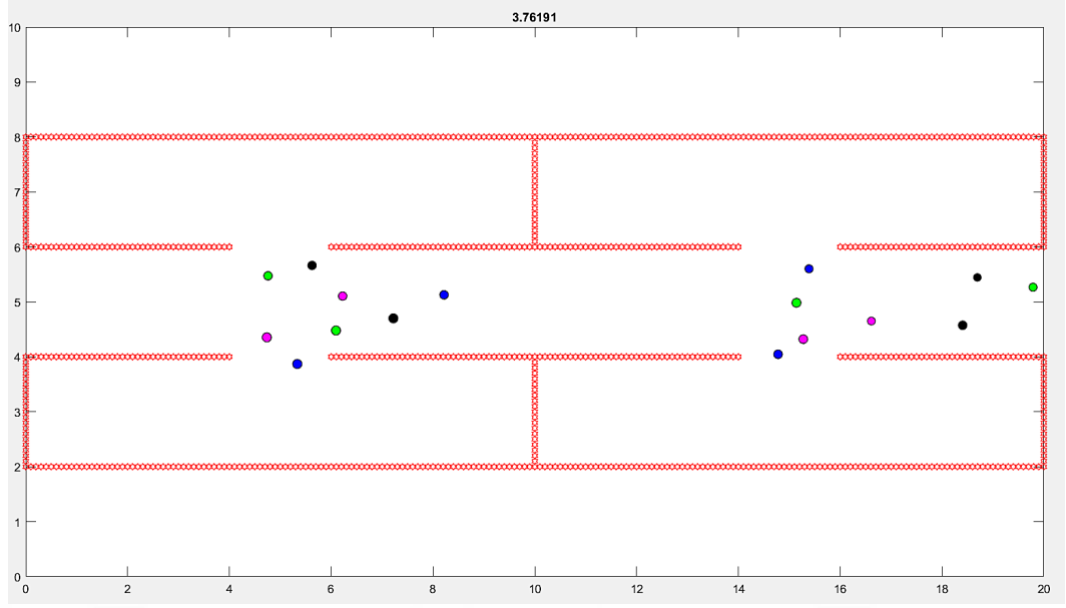
Senaryo 3 tahliye modellemesine K-means kümeleme ekledikten sonra oluşturulmuştur ve veriler bu doğrultuda kullanılmıştır. Tahliye anını tek çıkışla gösteren senaryodur. Kümeleme işlemi 4 küme için yapılmıştır. Senaryo 3 için kümeleme kriteri yayaların antropometrik verileri ve koşu hızlarıdır. Burada kişilerin binaya girişlerinde antropometrik verilerinin kaydedildiği, koşu hızlarının bu verilere göre ölçeklendirildiği ve kapladıkları alanlara, koşu

hızlarına göre kümelendiği varsayılmaktadır. Senaryo içinde yapılan 40 denemede yayaların kapladıkları alan daha önceden elde edilen verilerden kullanılmıştır. Ayrıca çalışan 20 denemede 16 kişi senaryo 2’de kaydedilen koordinatlara yerleştirilmiştir ve önce kapladıkları alana göre kümelenecek, sonrasında da koşu hızlarına göre kümelenecek tek çıkışa yönlendirilmiştir. Şekil 4.34 antropometrik verilere göre kümelemeyi göstermektedir. Kişilerin kapladıkları alan dikey ekseninde, ait oldukları küme ise yatay ekseninde belirtilmiştir. Kümeler C1, C2, C3, C4 olarak isimlendirilmiş sırası ile sağ aşağıda sembollerle gösterilmiştir.



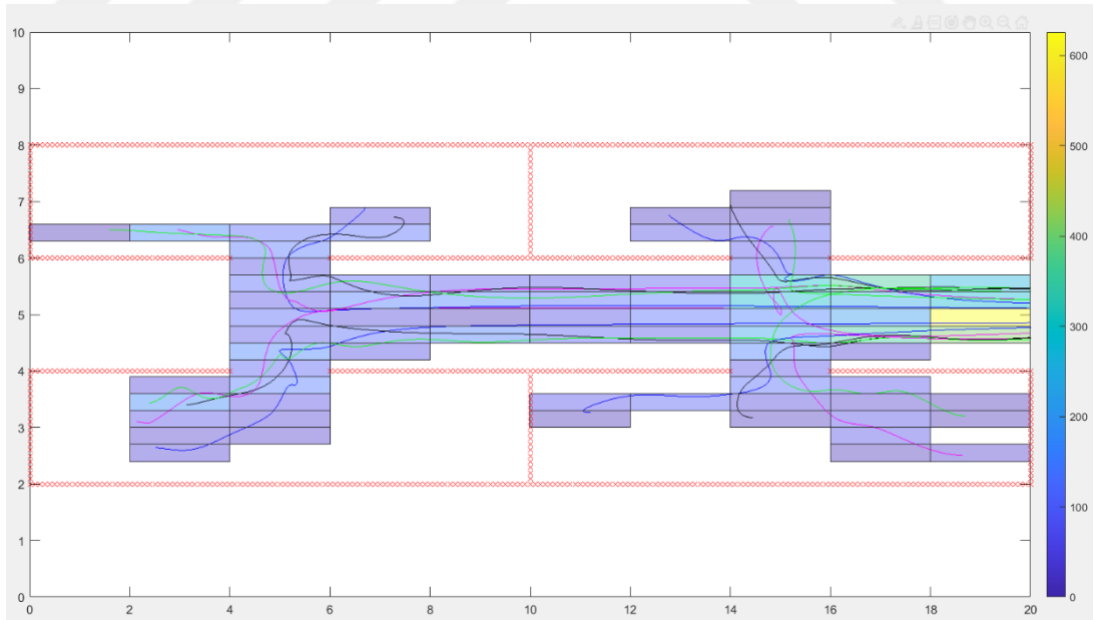
Şekil 4.34. Senaryo 3 antropometrik kümeleme

Kümeleme işleminden sonra denemeler çalıştırılmış ve çıkış süreleri kaydedilmiştir. Şekil 4.35’te yayaların antropometrik verilerine göre K-means ile kümelenecek tek çıkış için çalışan simülasyonun görüntüsü gösterilmiştir.

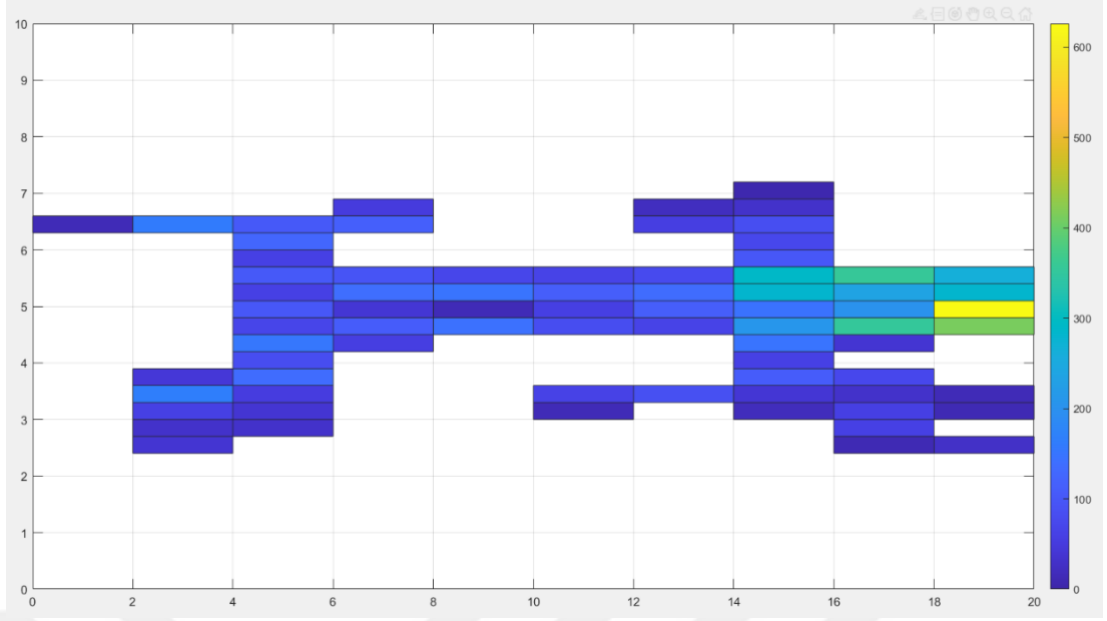


Şekil 4.35. Senaryo 3 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon

Şekil 4.36 deneme üzerinde en fazla kullanılabilir geçiş yollarını göstermektedir. Şekil 4.37’de tahliye yollarının çizilmediği, mimari plan içinde acil durumda en fazla kullanılacak alanlar ayrı gösterilmiştir.

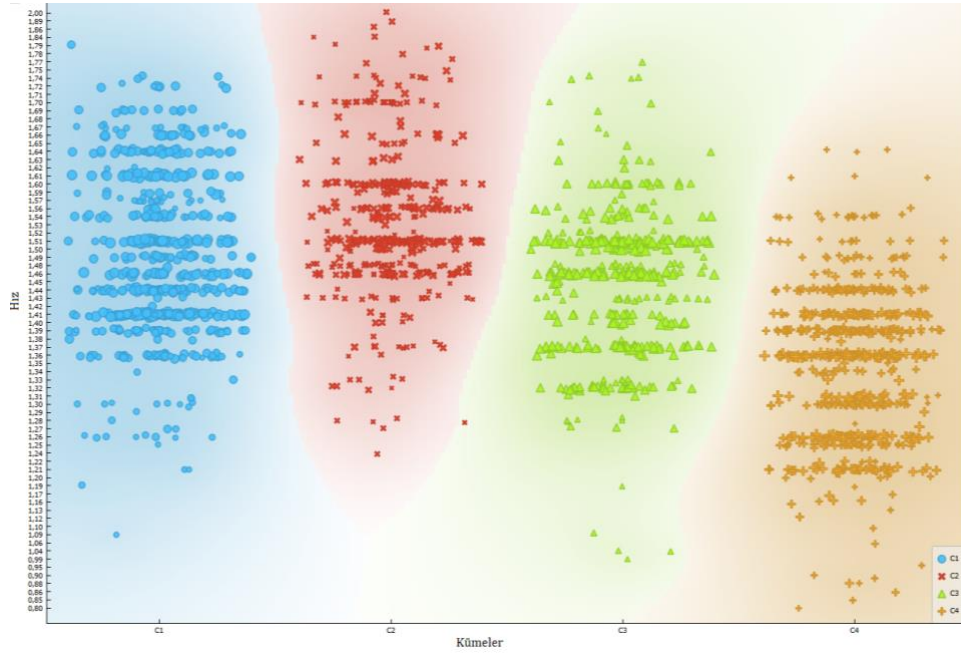


Şekil 4.36. Senaryo 3 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yolları



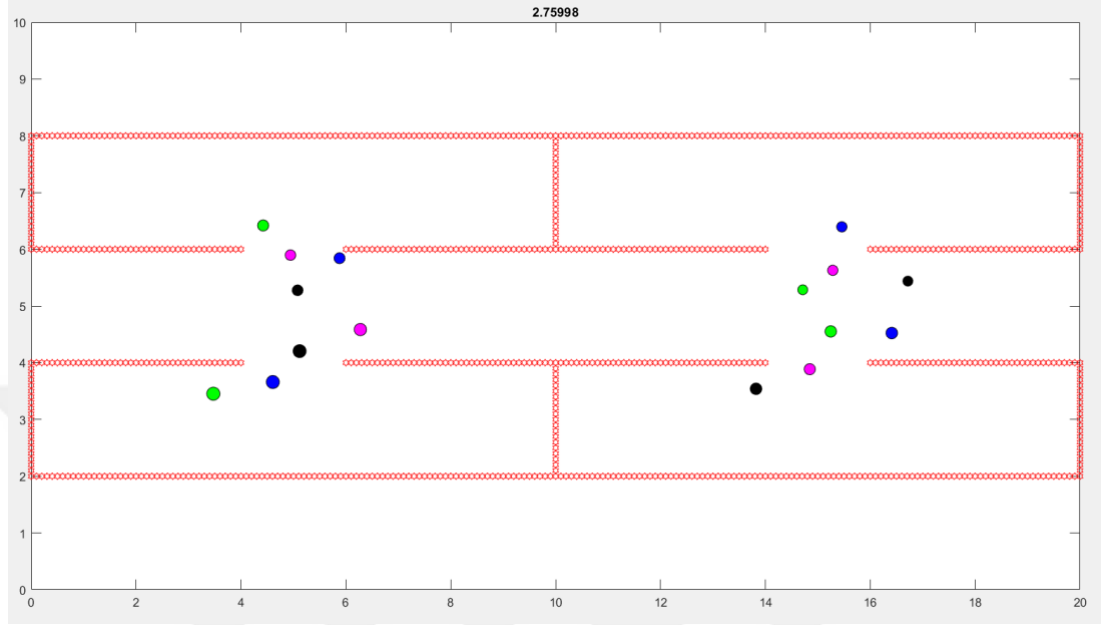
Şekil 4.37. Senaryo 3 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenecek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanları

Senaryo 3, antropometrik verilere göre kümelemeden sonra, koşu hızlarına göre kümelenecek çalıştırılmış ve 20 deneme yapılmıştır. Şekil 4.38 hız verilerine göre kümelemeyi göstermektedir. Kişilerin koşu hızları dikey eksende, ait oldukları küme ise yatay eksende belirtilmiştir. Kümeler C1, C2, C3, C4 olarak isimlendirilmiş sırası ile sağ aşağıda sembollerle gösterilmiştir.



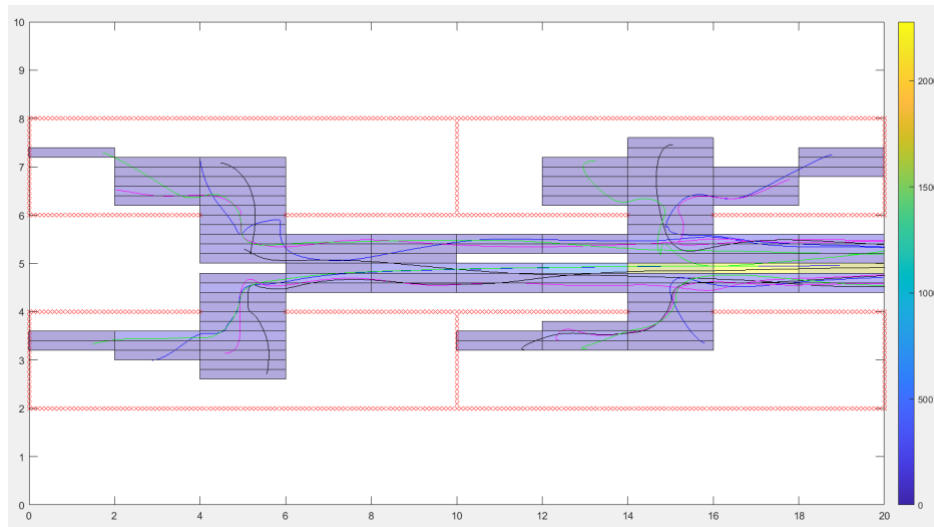
Şekil 4.38. Senaryo 3 koşu hızına göre kümeleme

Kümeleme işleminden sonra denemeler çalıştırılmış ve çıkış süreleri kaydedilmiştir. Şekil 4.39'da yayaların koşu hızı verilerine göre K-means ile kümelenen tek çıkış için çalışan simülasyonun görüntüsü gösterilmiştir.

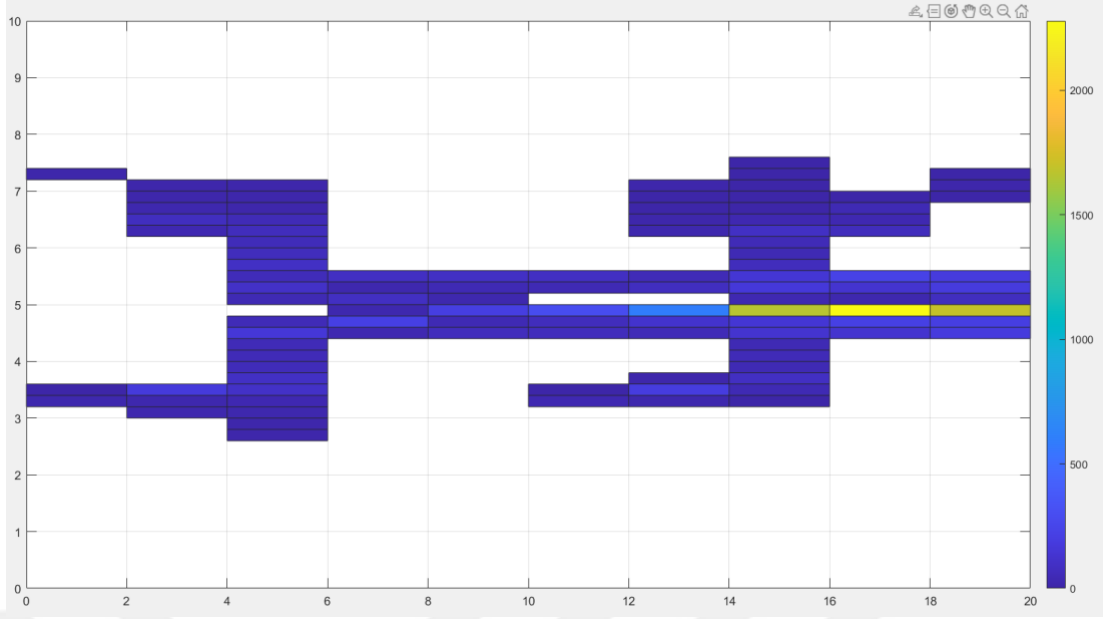


Şekil 4.39. Senaryo 3 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenecek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon

Şekil 4.40 deneme üzerinde en fazla kullanılabilecek geçiş yollarını göstermektedir. Şekil 4.41'de tahliye yollarının çizilmediği, mimari plan içinde acil durumda en fazla kullanılacak alanlar ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.40. Senaryo 3 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenecek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yolları



Şekil 4.41. Senaryo 3 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanları

40 denemenin çalıştırılmasının ardından Çizelge 4.3 elde edilmiştir. Bu çizelge içinde her bir denemede simülasyonun tahliye süreleri tek çıkış için ayrı ayrı gösterilmiştir. Toplam ve ortalama tahliye süreleri de hesaplanmıştır. "Rastsal tek çıkış" ifadesi senaryo 2'de elde edilen verileri göstermektedir. "Antropometrik Veri ile K-means Tek Çıkış" kişilerin kapladıkları alanlara göre kümelenerek çalıştırılan tek çıkışa yönlendirildikleri denemeleri göstermektedir. "Koşu Hızı Verisi ile K-means Tek Çıkış" kişilerin koşu hızlarına göre kümelenmesinin ardından tek çıkışa yönlendirildikleri denemeleri göstermektedir.

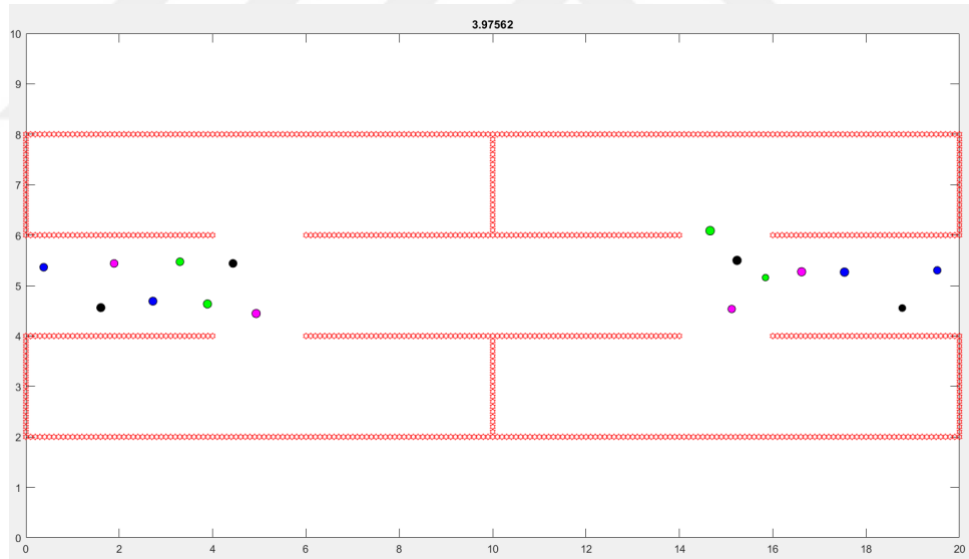
Çizelge 4.3. Senaryo 3 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)

Deneme	Rastsal Tek Çıkış(sn)	Antropometrik Veri ile K-means Tek Çıkış(sn)	Koşu Hızı Verisi ile K-means Tek Çıkış(sn)	Antropometrik Veri ile K-means Tek Çıkış Yüzdesel Değişim (%)	Koşu Hızı Verisi ile K-means Tek Çıkış Yüzdesel Değişim (%)
1	16,19	12,59	16,30	22,24	-0,68
2	15,65	15,90	15,02	-1,60	4,03
3	15,41	14,38	13,42	6,68	12,91
4	15,48	15,30	14,07	1,16	9,11
5	15,56	16,36	13,82	-5,14	11,18
6	16,46	14,01	16,60	14,88	-0,85
7	17,30	15,03	15,24	13,12	11,91
8	16,20	15,07	16,00	6,98	1,23
9	15,22	15,02	14,08	1,31	7,49
10	15,44	14,07	14,25	8,87	7,71
11	14,23	14,03	13,83	1,41	2,81
12	14,50	13,30	14,02	8,28	3,31
13	15,10	14,06	13,80	6,89	8,61
14	15,01	14,50	14,90	3,40	0,73
15	14,53	15,13	15,09	-4,13	-3,85
16	14,67	14,02	13,84	4,43	5,66
17	15,93	14,40	14,06	9,60	11,74
18	16,02	15,35	15,32	4,18	4,37
19	16,29	14,40	14,70	11,60	9,76
20	17,23	15,09	14,38	12,42	16,54
Ortalama Süre	15,62	14,60	14,64	6,53	6,30
Toplam Süre	312,42	292,01	292,74	6,53	6,30

Çizelge 4.3'e göre kişilerin tahliyesi 20 senaryo için tek çıkışlı tahliyede antropometrik verilere göre kümeleme yapıldığında toplam 292,01 sn, ortalama 14,60 sn, koşu hızına göre kümeleme yapıldığında toplam 292,74 sn, ortalama 14,64 sn olarak hesaplanmıştır. Buradaki veriler binaya giriş sırasında kişilerin antropometrik verilerinin alınması ve tahliye için kümelenmesi tahliye süresine olumlu bir iyileştirme yaptığı görülmektedir. Ayrıca koşu hızlarına göre kümeleme de tahliye süresi için olumlu bir iyileştirme yapabilmektedir. İyileştirme verileri yüzdesel olarak da hesaplanarak eklenmiştir.

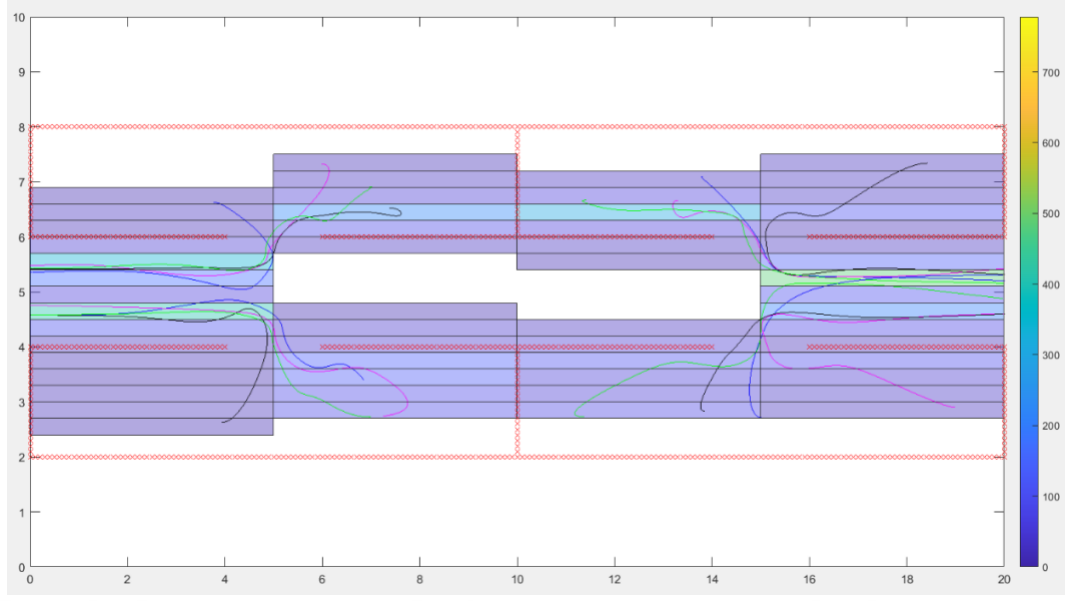
4.5. Senaryo 4'ün Çalışması ve Sonuçlar

Senaryo 4 tahliye modellemesine K-means kümeleme ekledikten sonra oluşturulmuştur ve veriler bu doğrultuda kullanılmıştır. Kümeleme işlemi 4 küme için yapılmıştır. Senaryo 4 için kümeleme kriteri yayaların antropometrik verileri ve koşu hızlarıdır. Burada kişilerin binaya girişlerinde antropometrik verilerinin kaydedildiği, koşu hızlarının bu verilere göre ölçeklendirildiği ve kapladıkları alanlara, koşu hızlarına göre kümelendiği varsayılmaktadır. Bu senaryo içinde yapılan 40 denemede yayaların kapladıkları alan daha önceden elde edilen verilerden kullanılmıştır. Ayrıca senaryo içinde çalışan 20 denemede 16 kişi senaryo 2'de kaydedilen koordinatlara yerleştirilmiştir ve önce kapladıkları alana göre kümelenecek, sonrasında da koşu hızlarına göre kümelenecek iki çıkışa yönlendirilmiştir. Çıkış süreleri kaydedilmiştir. Şekil 4.42'de yayaların antropometrik verilerine göre K-means ile kümelenen iki çıkış için çalışan simülasyonun görüntüsü gösterilmiştir.

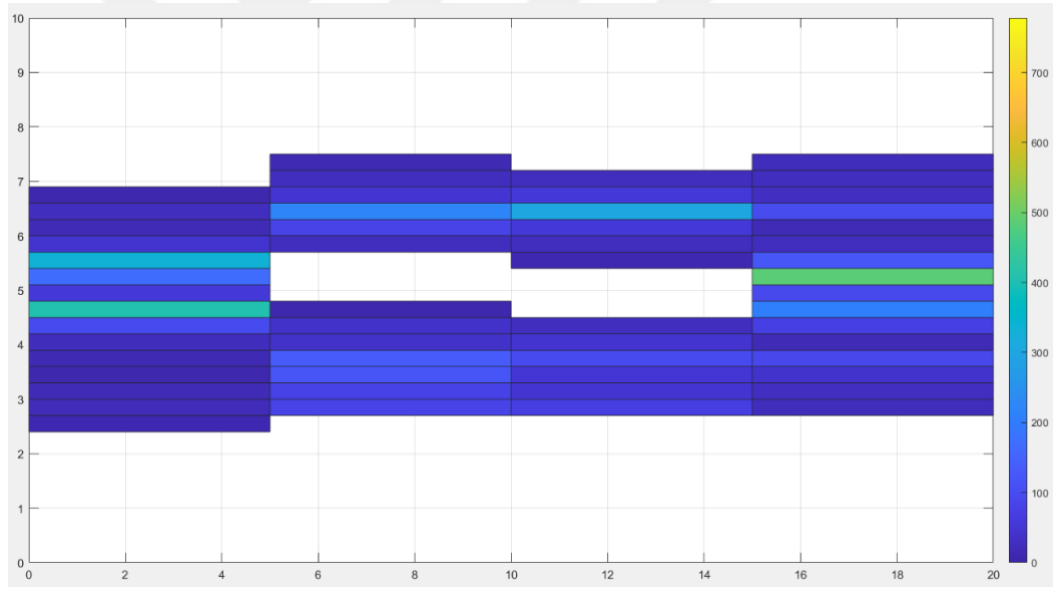


Şekil 4.42. Senaryo 4 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenecek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon

Şekil 4.43 deneme üzerinde en fazla kullanılabilecek geçiş yollarını göstermektedir. Şekil 4.44'te tahliye yollarının çizilmediği, mimari plan içinde acil durumda en fazla kullanılacak alanlar ayrı gösterilmiştir.

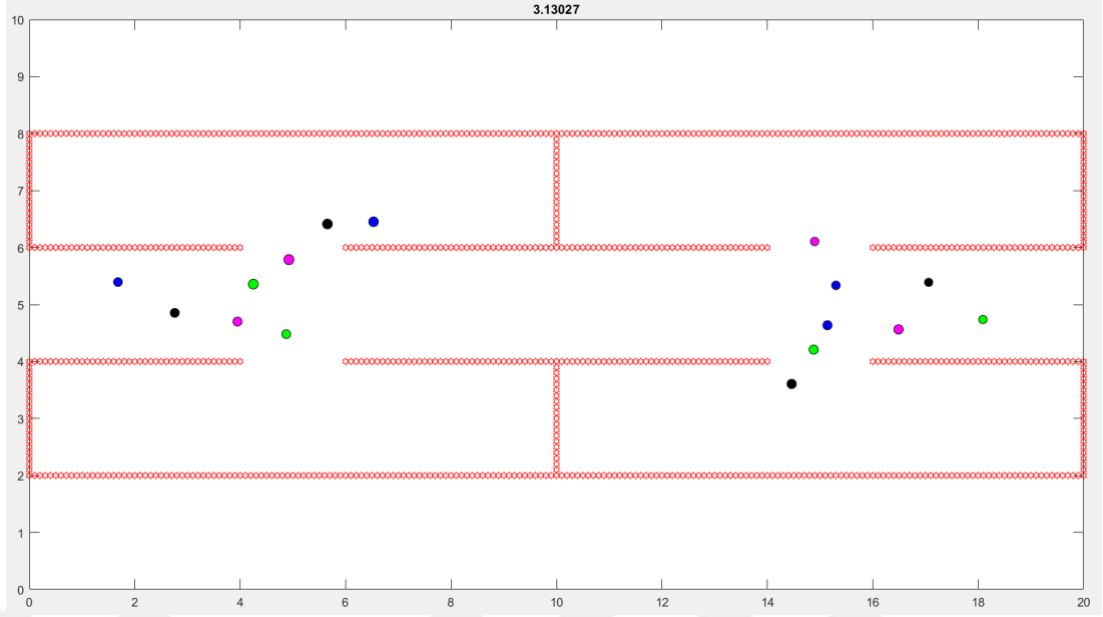


Şekil 4.43. Senaryo 4 denemesinde antropometrik verilere göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yolları



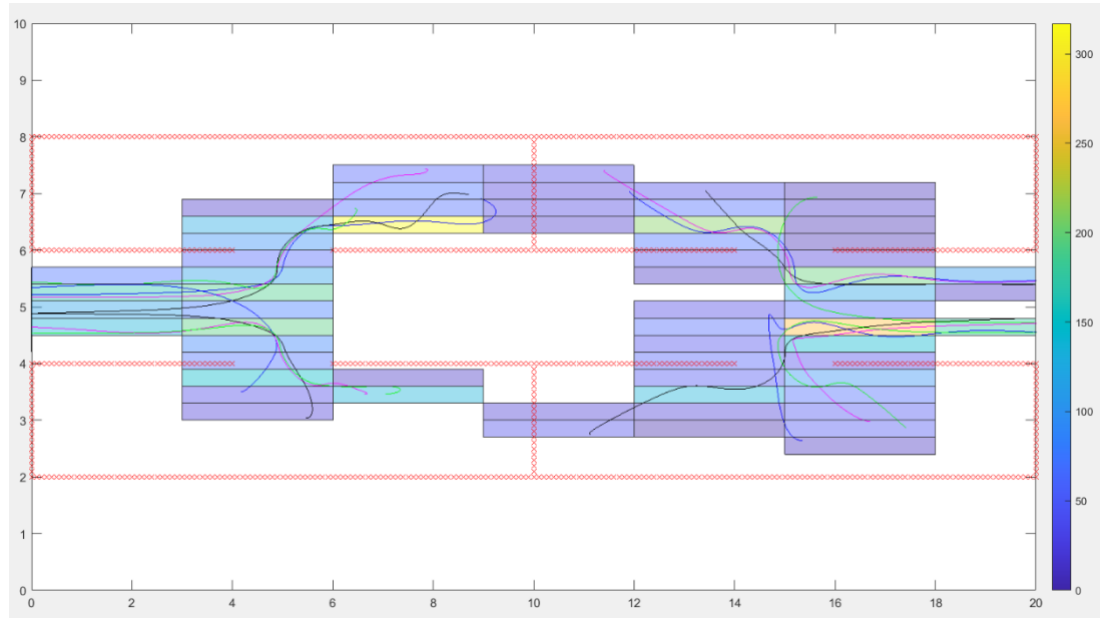
Şekil 4.44. Senaryo 4 denemesinde antropometrik verileri göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanları

Senaryo 4, antropometrik verilere göre kümelemeden sonra, koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılmış ve 20 deneme yapılmıştır. Şekil 4.45'te koşu hızlarına göre kümelenen yayaların simülasyonu görülmektedir.

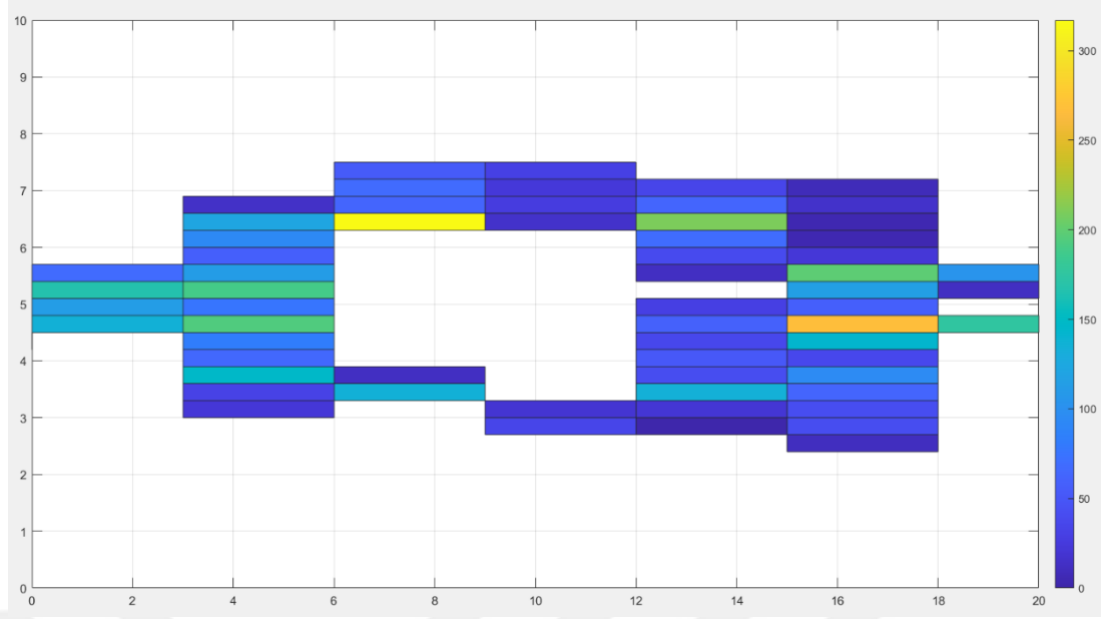


Şekil 4.45. Senaryo 4 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon

Şekil 4.46 deneme üzerinde en fazla kullanılabilecek geçiş yollarını göstermektedir. Şekil 4.47’de tahliye yollarının çizilmediği, mimari plan içinde acil durumda en fazla kullanılacak alanlar ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.46. Senaryo 4 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya yollarının belirtilmesi



Şekil 4.47. Senaryo 4 denemesinde koşu hızlarına göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışlı simülasyon için en fazla kullanılan yaya alanlarının belirtilmesi

40 denemenin çalıştırılmasının ardından Çizelge 4.4 elde edilmiştir. Bu çizelge içinde her bir denemede simülasyonun tahliye süreleri iki çıkış için ayrı ayrı gösterilmiştir. Toplam ve ortalama tahliye süreleri de hesaplanmıştır. “Rastasal tek çıkış” ifadesi senaryo 2’de elde edilen verileri göstermektedir. “Antropometrik Veri ile K-means İki Çıkış” kişilerin kapladıkları alanlara göre kümelenerek çalıştırılan iki çıkışa yönlendirildikleri denemeleri göstermektedir. “Koşu Hızı Verisi ile K-means İki Çıkış” kişilerin koşu hızlarına göre kümelenmesinin ardından iki çıkışa yönlendirildikleri denemeleri göstermektedir.

Çizelge 4.4. Senaryo 4 içinde kaydedilen tahliye süreleri (sn)

Deneme	Rastсал İki Çıkış (sn)	Antropometrik Veri ile K-means İki Çıkış (sn)	Koşu Hızı Verisi ile K-means İki Çıkış (sn)	Antropometrik Veri ile K-means İki Çıkış Yüzdesel Değişim (%)	Koşu Hızı Verisi ile K-means İki Çıkış Yüzdesel Değişim (%)
1	9,63	8,78	9,47	8,83	1,66
2	8,25	8,32	9,06	-0,85	-9,82
3	9,46	9,17	9,36	3,07	1,06
4	9,98	9,07	9,72	9,12	2,61
5	10,60	9,06	9,09	14,53	14,25
6	8,15	8,46	9,07	-3,80	-11,29
7	8,16	8,08	9,32	0,98	-14,22
8	9,35	8,05	8,18	13,90	12,51
9	9,36	8,30	8,75	11,32	6,52
10	9,32	7,09	8,69	23,93	6,76
11	8,81	9,07	8,12	-2,95	7,83
12	9,54	9,40	9,34	1,47	2,10
13	8,77	8,09	9,19	7,75	-4,79
14	10,66	8,60	9,57	19,32	10,23
15	11,69	9,20	9,27	21,30	20,70
16	8,76	9,44	9,36	-7,76	-6,85
17	10,44	9,05	9,67	13,31	7,38
18	9,64	8,06	8,27	16,39	14,21
19	9,44	9,08	8,16	3,81	13,56
20	8,13	8,87	9,28	-9,10	-14,15
Ortalama Süre	9,41	8,66	9,05	7,92	3,83
Toplam Süre	188,14	173,24	180,94	7,92	3,83

Çizelge 4.4'e göre kişilerin tahliyesi 20 senaryo için iki çıkışlı tahliyede antropometrik verilere göre kümeleme yapıldığında toplam 173,24 sn, ortalama 8,66 sn, koşu hızına göre kümeleme yapıldığında toplam 180,94 sn, ortalama 9,05 sn olarak hesaplanmıştır. Buradaki veriler binaya giriş sırasında kişilerin antropometrik verilerinin alınması ve tahliye için kümelenmesi tahliye süresine olumlu bir iyileştirme yaptığı görülmektedir. Ayrıca koşu hızlarına göre kümeleme de tahliye süresi için olumlu bir iyileştirme yapabilmektedir. İyileştirme verileri yüzdesel olarak da hesaplanarak eklenmiştir.

Sonuçların tümünün karşılaştırması Çizelge 4.5'te görülmektedir. Çizelgeye baktığımızda senaryo 1, senaryo 2, senaryo 3 ve senaryo 4'te yapılan denemelerin ortalama tahliye süresi görülmektedir. Bu sonuçlara göre, bina girişlerinde kişilerin antropometrik verilerinin alınması ve koşu hızlarının hesaplanması acil durum tahliyesine iyileştirme sağlayacaktır. Kişilerin kümelenmesi ise tahliye zamanını en iyileştiren metotlardan biri olmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere tek çıkışlı mimari planda %10,20 ve iki çıkışlı mimari planda %13,45 iyileştirme insanların antropometrik verilerinin işlenmesi ile elde edilmiştir. Koşu hızlarının ölçeklenmesi de katkı sağlamıştır. Ayrıca kat tahliyesi için iki çıkışlı planlamanın yapılması daha uygun tahliye süreleri verebilecektir.

Çizelge 4.5. Senaryoların sonuçları ve karşılaştırılması

	Ortalama Tahliye Süresi (sn)	
	Tek Çıkış	İki Çıkış
Senaryo 1-Sabit Değerli Rastsal Model	16,26	10,01
Senaryo 2-Antropometrik ve Koşu Hızı Verileri	15,62	9,41
Senaryo 3-Antropometrik Kümeleme	14,60	8,66
Senaryo 4-Koşu Hızı Kümeleme	14,64	9,05
Fark (%)	10,20	13,45

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Antropometri toplumlar için önemli bir rol oynamaktadır. Spordan sağlığa ergonomiden mimariye kadar birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Antropometrik veriler çalışma alanları, araç-gereç, mobilya gibi tasarımlarda konforu ve verimliliği artırmak için kullanılmaktadır. Mimari alanda da insanların fiziksel özelliklerini, hareketlerini dikkate alarak mekân tasarımında yardımcı olmaktadır. İnsanların vücut ölçüleri, hareket aralıkları ve mekanların kullanılabilirliği, konforu ve işlevselliği üzerinde doğrudan etkisi vardır. İnsanlar sürekli olarak binalarla, çevreleriyle ve bu binalardaki kişilerle doğrudan etkileşim halindedirler. Binaların boyutları, koridor genişlikleri, tavan yükseklikleri, kapı ve pencere yükseklikleri gibi öğeler, insanların rahatlıkla dolaşmasını, etkileşimde bulunmasını ve mekândan olumlu fayda sağlayabilmesi için antropometrik verilere dayanmalıdır. Antropometrik veriler işlevsel alanların tasarımında önemli bir rol oynar.

Acil durum tahliyesi bir binada ya da mekânda oluşabilecek acil durumlar sırasında insanların güvenli olarak tahliye edilmesini sağlayan bir dizi kuralları ve önlemleri kapsar. İnsanlar acil durumlarda hızlı hareket etmeli ve çıkışlara ulaşabilmelidir. Antropometri, insanların hareket kabiliyeti, koşu hızı ve omuz genişliği, vücut büyüklüğü gibi faktörleri dikkate alarak, tahliye yollarının boyutları ve konumları üzerinde etkili olur.

Bu tez çalışmasında, insanların binalara girişlerinde ölçülerek antropometrik verilene göre acil durum tahliyesine katkı sağlamak için gerekli durumların çözümlenmesi yapılmıştır. Bunu gerçekleştirmek için kişilerin hareketleri sosyal kuvvet modeli ile hesaplanmıştır. Bu model acil durum tahliyesinin karmaşıklığını ve insan davranışının sosyal etkileşimlerini anlamak için bir çerçeve sunar. Tahliye sürecinin başarılı olması için, insan davranışını ve sosyal faktörleri dikkate almak önemlidir. Modeli antropometri ile birleştirdiğimizde ise daha olumlu sonuçlar alınmaktadır. Bu nedenle gerçek antropometrik veriler alınarak yapılan denemelere dahil edilmiştir. Yapılan denemelerde hesaplandığı üzere toplam tahliye sürelerinde tek çıkışlı bir mimari plan için ortalamada

%10,20, iki çıkışlı bir mimari plan için ortalamada %13,45 iyileştirme elde edilmiştir. Farklı mimari planlara da uygulanabilen model ile binaların daha plan halindeyken acil durum tahliyesi için tahminleme yapmasına da olanak sağlamaktadır. Ayrıca binanın mevcut durumunda da fikir vermektedir. Kat içinde kullanılabilecek durumlarda, mevcut katta bir tahliye çıkışının yeterli olup olmadığı fikrine de katkı vermektedir. Yapılan denemelerde acil durum tahliyesinde iki adet çıkışın tahliye süresine olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Kişilerin antropometrik verileri ile kümelenerek tahliye kapılarına yönlendirilmesi tahliye süresine olumlu etkisi görülmüştür. Ölçeklendirilmiş koşu hızının kümelenmesi de tahliye süresine olumlu etki bırakmaktadır. Ancak bu veri antropometrik veri kadar kesin değildir ve antropometrik veriler ile karşılaştırıldığında, antropometrik verilerle elde edilen tahliye süresi daha iyi sonuçlar vermiştir.

Optimum bir tahliye rotası bulmak için, bina içindeki tüm yolların ve bu farklı yollar üzerindeki sıklıkla dikkate alınması gerekir. İç mekânın etkili bir şekilde tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tahliye planını en iyi şekilde oluşturmak ve engellerden kurtulmak için, sosyal kuvvet modeli ile oluşturulan simülasyonlar sonucu elde edilen histogramlar ile panik anında insanların en fazla kullanacağı rotalar gösterilmiştir. Böylelikle bina ya da kat tasarımında kullanılacak alanlar bu durumlara göre belirlenebilir. Katlar için kullanılacak malzemeler ve yolların üzerine konacak dekorların yerleşiminde de fikir verecektir. Tahliye yollarının kapanmaması ve panik anında insanların geçiş yollarını rahat kullanmaları amacıyla engellerin de kaldırılması acil durum tahliyesine katkı verecektir. İnsanların kabiliyetlerini tahminleyebilmek ve potansiyel tahliye yollarını engelleyecek durumları ortadan kaldırmak acil durum tahliyesini iyileştirmek için önemli bir katkı sunmaktadır. İnsanların bina girişlerinde ölçülerek antropometrik verilerinin tutulabilmesi ve acil durumlarda kullanabilecekleri rotaların tahmin edilmesi, bu rotaların ve alanların potansiyel engellerden arındırılması tahliye süresine olumlu olarak etki edecektir.

Farklı kullanım amaçları olan mekanlar düşünöldüğünde planlamanın önemi ortaya çıkmaktadır. İlkokul öğrencilerinin olduğu bir bina içindeki kat planı ve bu bina içindeki kişilerin antropometrik verileri ile üniversite öğrencilerinin olduğu bir bina kat planı ve bu kişilerin antropometrik verileri arasında oldukça büyük farklar olacaktır. Acil bir durumda bu kişilerin arasında oluşacak kuvvetler oldukça farklı olacaktır. Karma bir durumu da göz önüne aldığımızda kişileri kümeleyerek farklı çıkışlara yönlendirebilmek tahliyeyi sağlıklı kılmak için oldukça önemlidir. Önerdiğimiz yöntem bu farklılıkların anlaşılmasında ve bina tahliye süresinin tahmin edilmesinde önemli katkılar sağlayabilecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için araştırmacılar; bina kapasitesinin anlaşılabilmesi için farklı yöntemler geliştirebilir ve binaya alınması gerekenden fazla kişinin girmesini önleyecek sistemler tavsiye edebilirler. Binada acil bir durum olduğunda kapasite üzeri insan kalabalığı doğru bir şekilde tahliye edilemeyecektir. Ayrıca kat planı içinde çıkışların yerleri genişlikleri ve maliyet analizleri gibi durumlar da incelenebilir. Kat içinde yeterli çıkış kapısının olmadığı tespiti halinde fazladan bir kapının açılması gerektiğini öneren sistemler geliştirilebilir. Konu ile ilgili olarak farklı yaş gruplarından insanların erişilebilirlikleri de bu konulara ek olarak dahil edilebilir. Yaşlı ve engelli bireyler için acil durumlarda çıkışlara erişilebilirlik değişecektir. Bu nedenle farklı amaçtaki mekân tasarımlarında bu durum çalışarak iyileştirmelere gidilebilir.

KAYNAKLAR

- Apel, M., 2004. Simulation of Pedestrian Flows Based on the Social Force Model Using the Verlet Link Cell Algorithm, Poznan University of Technology, M.Sc Thesis, 79p, Poznan.
- Bassoli, E., Vincenzi, L., 2021. Parameter Calibration of a Social Force Model for the Crowd-Induced Vibrations of Footbridges. *Frontiers in Built Environment*, 7, 656799.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.656799>
- Baysal Türkölmez, G., Güneş, M., 2016. Metro servis sistemlerinde acil tahliye modelleri: İzmir metro uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 324–339.
<https://doi.org/10.5505/pajes.2015.57855>
- Cao, L., Wang, L., 2015. Analysis and intervention in pedestrian evacuation via a modified social force model, *The 27th Chinese Control and Decision Conference*, Qingdao, China, 5924–5929.
<https://doi.org/10.1109/CCDC.2015.7161870>
- Casadei, K., Kiel, J., 2022. *Anthropometric Measurement*. StatPearls Publishing, Treasure Island.
- Chen, P., Chen, G., Wang, L., Reniers, G., 2018. Optimizing emergency rescue and evacuation planning with intelligent obstacle avoidance in a chemical industrial park. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 56, 119–127.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.08.006>
- Chen, X., Treiber, M., Kanagaraj, V., Li, H., 2018. Social force models for pedestrian traffic–state of the art. *Transport Reviews*, 38, 625–653.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1396265>
- Chen, Y., Wang, C., Li, H., Yap, J.B.H., Tang, R., Xu, B., 2020. Cellular automaton model for social forces interaction in building evacuation for sustainable society. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101913.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101913>
- Cornes, F.E., Frank, G.A., Dorso, C.O., 2021. Microscopic dynamics of the evacuation phenomena in the context of the Social Force Model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 568, 125744.
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.125744>
- Crowd Risks, 2023. Erişim Tarihi: 10.03.2023.
<https://crowdrisks.com/index.html>

- Dehariya, V.K., Shrivastava, S.K., Jain, R.C., 2010. Clustering of Image Data Set Using K-Means and Fuzzy K-Means Algorithms, International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, Bhopal, India, 386-391.
<https://doi.org/10.1109/CICN.2010.80>
- Dessalew, G.W., Woldeyes, D.H., Abegaz, B.A., 2019. The Relationship Between Anthropometric Variables and Race Performance. Open Access Journal of Sports Medicine, 10, 209–216.
<https://doi.org/10.2147/oajsm.s234067>
- Duives, D.C., Daamen, W., Hoogendoorn, S.P., 2013. State-of-the-art crowd motion simulation models. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 37, 193–209.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.02.005>
- Ekizoğlu, B., 2009. Acil Durum Tahliye Simülasyonları ve İşletme Fakültesi'nde Uygulanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 115s, İstanbul.
- Erkan, I., 2020. A system proposal for rapid detecting of anthropometric data and affecting design strategies. Journal of Engineering, Design and Technology, 18, 1793–1822.
<https://doi.org/10.1108/JEDT-11-2019-0302>
- Fahad, M.G.R., Nazari, R., Bhavsar, P., Jalayer, M., Karimi, M., 2019. A decision-support framework for emergency evacuation planning during extreme storm events. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 77, 589–605.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.024>
- Fang, Z., Zong, X., Li, Qingquan, Li, Qiuping, Xiong, S., 2011. Hierarchical multi-objective evacuation routing in stadium using ant colony optimization approach. Journal of Transport Geography, 19, 443–451.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.10.001>
- Gao, H., Medjdoub, B., Luo, H., Zhong, H., Zhong, B., Sheng, D., 2020. Building evacuation time optimization using constraint-based design approach. Sustain. Sustainable Cities and Society, 52, 101839.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101839>
- Garcimartín, A., Zuriguel, I., Pastor, J.M., Martín-Gómez, C., Parisi, D.R., 2014. Experimental Evidence of the “Faster Is Slower” Effect. Sustainable Cities and Society, 2, 760–767.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.085>

- Gayathri, H., Aparna, P.M., Verma, A., 2017. A review of studies on understanding crowd dynamics in the context of crowd safety in mass religious gatherings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 25, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.07.017>
- Ghosh, S., Kumar, S., 2013. Comparative Analysis of K-Means and Fuzzy C-Means Algorithms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 4(4), 35-39. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2013.040406>
- Gökmen, M.S., 2018. Dinamik ve Antropometrik Parametreler Kullanılarak Yürüyüş Özelliklerinin Çıkartılması ve Kimlik Tespiti, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Karabük.
- Güleç, E., Akın, G., Sağır, M., Özer, B.K., Gültekin, T., Bektaş, Y., 2009. Anadolu İnsanın Antropometrik Boyutları: 2005 Yılı Türkiye Antropometri Anketi Genel Sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 49(2), 187-201. https://doi.org/10.1501/Dtcfder_0000001211
- Hadzic, T., Brown, K.N., Sreenan, C.J., 2011. Real-Time Pedestrian Evacuation Planning during Emergency. 23rd International Conference on Tools with Artificial Intelligence, Boca Raton, FL, USA, 597–604. <https://doi.org/10.1109/ICTAI.2011.95>
- Helbing, D., 1998. A Fluid Dynamic Model for the Movement of Pedestrians. *Complex Systems*, 6, 391-415.
- Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., Werner, T., 2005. Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations, and Design Solutions. *Transp. Sci.* 39, 1–24. <https://doi.org/10.1287/trsc.1040.0108>
- Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T., 2000a. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407, 487–490. <https://doi.org/10.1038/35035023>
- Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T., 2000b. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407, 487–490. <https://doi.org/10.1038/35035023>
- Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T., 2000c. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407, 487–490. <https://doi.org/10.1038/35035023>
- Helbing, D., Farkas, I. J., Molnar, P., & Vicsek, T., 2002. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestrian and evacuation dynamics*, 21(2), 21-58.

- Helbing, D., Johansson, A., 2012. Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics. In: Meyers, R. (Ed.), Encyclopedia of Complexity and Systems Science (1-28). Springer, New York.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_382-5
- Henderson, L.F., 1971. The Statistics of Crowd Fluids. Nature 229, 381–383.
<https://doi.org/10.1038/229381a0>
- Hotzman, J., Gordon, C.C., Bradtmiller, B., Corner, B.D., Mucher, M., Kristensen, S., Paquette, S., Blackwell, C.L., 2011. Measurer's Handbook: US Army and Marine Corps Anthropometric Surveys, 2010-2011. NATICK/TR-11/017, 263p.
- Hoogendoorn, S., Bovy, P.H.L., 2000. Gas-Kinetic Modeling and Simulation of Pedestrian Flows. Transportation Research Record, 1710(1), 28–36.
<https://doi.org/10.3141/1710-04>
- Imani, Z., Soltanizadeh, H., 2016. Person Reidentification Using Local Pattern Descriptors and Anthropometric Measures From Videos of Kinect Sensor. IEEE Sensors Journal 16(16), 6227–6238.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2579645>
- İşeri, A., 2008. Determining The Anthropometric Characteristics of Turkish Population. Fatih University, M.Sc. Thesis, 179p, Istanbul.
- Kabalan, B., 2016. Crowd dynamics : modeling pedestrian movement and associated generated forces. Université Paris-Est, M.Sc. Thesis, 243p., Paris.
- Khalid, Md., Pal, N., Arora, K., 2014. Clustering of Image Data Using K-Means and Fuzzy K-Means. International Journal of Advanced Computer Science and Application, 5(7), 160-163.
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2014.050724>
- Khamis, N., Selamat, H., Ismail, F.S., Lutfy, O.F., Haniff, M.F., Nordin, I.N.A.M., 2020. Optimized exit door locations for a safer emergency evacuation using crowd evacuation model and artificial bee colony optimization. Chaos Solitons and Fractals, 131, 109505.
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.109505>
- Kılıç, A., 2011. Antropometrik Ölçüm Sisteminden Yararlanarak Kadınlara Yönelik Yeni Bir Etek ve Pantolon Giysi Kalıbı Hazırlama Yönteminin Geliştirilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 202s, İzmir.
- Kocabaş Akay, M., 2017. Kadın ve Erkek Antropometrik Ölçüleri Arasındaki İlişkilerin Analizi ve Tahminlenmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 135s, Kocaeli.

- Kretz, T., 2020. How to Change the Value of Social Force Model's Relaxation Time Parameter with Desired Speed Such that Bottleneck Flow Remains Unchanged. In: Zuriguel, I., Garcimartin, A., Cruz, R. (Eds.) Traffic and Granular Flow 20 (127-132). Springer Proceedings in Physics, vol 252. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-55973-1_16
- Lee, Y.-C., Chen, C.-H., Lee, C.-H., 2019. Body anthropometric measurements of Singaporean adult and elderly population. Measurement 148, 106949.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106949>
- Li, X., Li, Q., Claramunt, C., 2018. A time-extended network model for staged evacuation planning. Safety Science, 108, 225–236.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.004>
- Li, X., Liang, Y., Zhao, M., Wang, C., Bai, H., Jiang, Y., 2019. Simulation of Evacuating Crowd Based on Deep Learning and Social Force Model. IEEE Access, 7, 155361–155371.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949106>
- Maheshwari, N., Rajan, K.S., 2016. A Semantic Model to Define Indoor Space in Context Of Emergency Evacuation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B4, 313–318.
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B4-313-2016>
- Marlow, F., Jacob, J., Sagaut, P., 2021. A multidisciplinary model coupling Lattice-Boltzmann-based CFD and a Social Force Model for the simulation of pollutant dispersion in evacuation situations. Safety Science, 205, 108212.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108212>
- Maurhofer, C., 2016. Crowd Simulation A Python Framework for the Simulation of Human Actors in Miarmy. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, B.Sc. Thesis, 27p, Zurich.
- Millà, A.G., 2016. Crowd Modeling and Simulation on High Performance Architectures. Universitat Autònoma de Barcelona, PhD. Thesis, 124p, Barcelona.
- Parry, G.W., 2007a. The Dynamics of Crowds. University of Bath, Department of Mathematical Sciences, M.Sc. Thesis, 73p, Bath.
- Peng, Y., Li, S.-W., Hu, Z.-Z., 2019. A self-learning dynamic path planning method for evacuation in large public buildings based on neural networks. Neurocomputing, 365, 71–85.
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.06.099>

- Pillac, V., Van Hentenryck, P., Even, C., 2016. A conflict-based path-generation heuristic for evacuation planning. *Transportation Research Part B: Methodological*, 83, 136–150.
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.09.008>
- Robinson, M., Parkinson, M.B., 2013. Estimating Anthropometry with Microsoft Kinect, *Proceedings of the 2nd International Digital Human Modeling Symposium*.
- Šentija, D., Rakovac, M., Babić, V., 2012. Anthropometric characteristics and gait transition speed in human locomotion. *Human Movement Science*, 31, 672–682.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.006>
- Septadina, I. seta, Suciati, T., Se, H.S., 2019. Body Mass Index as a Parameter of Running Speed. *Journal of Biomedicine and Translational Research*, 3, 1–9.
<https://doi.org/10.32539/bsm.v3i2.83>
- Shahhoseini, Z., Sarvi, M., 2017. Collective movements of pedestrians: How we can learn from simple experiments with non-human (ant) crowds. *Plos One* 12, e0182913.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182913>
- Shang, H., Feng, P., Zhang, J., Chu, H., 2022. Calm or panic? A game-based method of emotion contagion for crowd evacuation. *Transportmetrica A: Transport Science*, 1–20, 1995529.
<https://doi.org/10.1080/23249935.2021.1995529>
- Shin, Y., Kim, S., Moon, I., 2019. Simultaneous evacuation and entrance planning in complex building based on dynamic network flows. *Applied Mathematical Modelling*, 73, 545–562.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.04.009>
- Shiwakoti, N., Sarvi, M., 2013. Enhancing the panic escape of crowd through architectural design. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 37, 260–267.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.04.009>
- Sipahi, S., Ertas, Ş., 2019. Türkiye’de Mimarlık Alanında Antropometrik Veri Bankası Oluşturmaya Yönelik Bir Bakış Açısı: Caesar Projesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, 12(23), 167–184.
- Statistics How To, 2023. Clustering and K Means. Erişim Tarihi: 14.04.2023.
<https://www.statisticshowto.com/clustering/>

- Sticco, I.M., Cornes, F.E., Frank, G.A., Dorso, C.O., 2017. Beyond the faster-is-slower effect. *Physical Review E*, 96, 052303.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.052303>
- Still, G.K., 2000. Crowd Dynamics. University of Warwick, PhD. Thesis, 280p, Coventry.
- Tanaka, A., Hata, N., Tateiwa, N., Fujisawa, K., 2017. Practical approach to evacuation planning via network flow and deep learning. *IEEE International Conference on Big Data*, Boston, MA, USA, 3368-3377.
<https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258322>
- Thio, N.A., 2019. Pedestrian Crowd Evacuation Under Panic. The University of Melbourne, School of Mathematics and Statistics, M.Sc. Thesis, 67p, Melbourne.
- Turgut, Y., 2017. Acil Durumlarda Yaya Tahliyesi İçin Grup Davranışı İçeren Sosyal Kuvvet Modeli Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, İstanbul.
- Ünal, Z., 2011. Kalabalıkların Dinamiği. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*. 520, 24-31.
- van Toll, W., Chatagnon, T., Braga, C., Solenthaler, B., Pettré, J., 2021. SPH crowds: Agent-based crowd simulation up to extreme densities using fluid dynamics. *Computers and Graphics*, 98, 306-321.
<https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.06.005>
- Verma, A., 2021a. Crowd Management- Social Force Model. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(9), 335-345.
- Verma, A., 2021b. Crowd Management-Social Force Model. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(9), 335-345.
- Waldau, N., Gattermann, P., Knoflach, H., Schreckenberg, M. (Eds.), 2007. *Pedestrian and evacuation dynamics 2005*. Springer, 495p, Berlin.
- Wikipedia, 2023. Feature Scaling. Erişim Tarihi: 10.02.2023.
https://en.wikipedia.org/wiki/Feature_scaling
- World Crowd Disasters Web App V1, 2023. Erişim Tarihi: 10.02.2023.
<https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html>
- Xiao, Q., Li, J., 2022. A Social Force Evacuation Model with Guides Based on Fuzzy Clustering and a Two-Layer Fuzzy Inference. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1-16.
<https://doi.org/10.1155/2022/7700511>

- Ye, Z., Yin, Y., Zong, X., Wang, M., 2014. An Optimization Model for Evacuation Based on Cellular Automata and Ant Colony Algorithm. Seventh International Symposium on Computational Intelligence and Design, Hangzhou, China, 7-10.
<https://doi.org/10.1109/ISCID.2014.160>
- Yıldız, B., Çağdaş, G., 2021. Agent-based Modeling for User Movements using Fuzzy Logic. Journal of Computational Design 2, 243–264.
- Yu, T., Wang, J., Zhao, Z., 2018. Evacuation Entropy Particle Swarms Optimization (E-PSO) Evacuation Model Considering Panic Factors, IEEE 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering, Wuhan, China, 538-544
<https://doi.org/10.1109/CCSSE.2018.8724787>
- Zhonghua, J., Yanyun, C., 2018. Research on Evacuation of Panic People Based on Optimal Control. 37th Chinese Control Conference, Wuhan, China, 2161-216
<https://doi.org/10.23919/ChiCC.2018.8483189>
- Zhu, L., Chung, F.-L., Wang, S., 2009. Generalized Fuzzy C-Means Clustering Algorithm With Improved Fuzzy Partitions. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 39(3), 578–591.
<https://doi.org/10.1109/TSMCB.2008.2004818>
- Zhu, Y., Chang, Z., Liu, H., 2020. A Modified Social Force Model Considering Terrorist Attack Panic. 13th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Xi'an, China, 10-12.
<https://doi.org/10.1109/ICICTA51737.2020.00011>
- Zsifkovits, M., Pham, T.S., 2016. Modelling and Parameterizing Pedestrian Behaviour in Public Places: A Review. International Journal of Simulation Modelling ,16, 630–643.
[https://doi.org/10.2507/IJSIMM16\(4\)6.399](https://doi.org/10.2507/IJSIMM16(4)6.399)