
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ANTİK ROMA TİYATROLARINDA TAHLİYE ANALİZİ: ASPENDOS TİYATROSU ÖRNEĞİ

Şeyma SARITEPE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şeyma SARITEPE

14/12/2022

ANTİK ROMA TİYATROLARINDA TAHLİYE ANALİZİ: ASPENDOS TİYATROSU ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Şeyma SARITEPE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2022

ÖZET

Yapıların güvenli olup olmadığının önemli ölçütlerinden biri güvenli tahliyenin sağlanabilmesidir. Antik tiyatro gibi tarihi miras değeri olan ve kullanıcı yoğunluğu yüksek olan yapılarda tahliye etkinliği önemlidir. Bu yapılarda modern tahliye standartları sağlanamayabilir. Bu çalışmada Antalya ili Serik İlçesinde bulunan, Antik Roma tiyatrosu olan Aspendos Tiyatrosu'nun tahliye durumu incelenmektedir. Bu araştırmada öncelikle tiyatronun güncel kullanımında gözlemsel inceleme de bulunulmuştur. Sonrasında ise bilgisayar destekli benzetim çalışması ile tahliye durumu incelenmiştir. Gözlemsel tahliye ölçümü 20 Eylül 2021 tarihinde bir konser etkinliği sonrasında yapılmıştır. Daha sonra ilgili yapının bilgisayar destekli özne tabanlı (agent-based) benzetim modeli oluşturulmuş ve 5 farklı senaryoda model çalıştırılarak bulgular değerlendirilmiştir. Gözlemsel incelemede 1233 kişinin tahliye süresi 16 dakika olarak ölçülmüştür. Aynı kişi sayısı senaryo 00'da benzetim modeli ile denenmiş ve tahliye süresi 7 dakika 27 saniye olarak ölçülmüştür. Sonrasında, NFPA 101 ve Türkiye Yangın Yönetmeliğinde belirtilen standartlar dikkate alınarak binaya ait tam kullanıcı yükü hesaplanmıştır. 5882 kişi ile yürüme hızı (1,19 m/s ve 1,38 m/s), binanın günümüzde kullanılan çıkış sayısı ile orijinal tasarımında bulunan çıkış sayısı dikkate alınarak 4 adet senaryo belirlenmiştir. Buna göre tahliye süresi senaryo 01a'da 28 dakika 37 saniye; senaryo 01b'de 22 dakika 14 saniye; senaryo 02a'da 19 dakika 26 saniye; senaryo 02b'de 17 dakika 20 saniye olarak ölçülmüştür. Antik tiyatroların tahliyesi ile ilgili literatürde yapılmış çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma ile ilgili alana katkı sunulmaktadır. Aktif olarak kültürel faaliyetlerde kullanılan bu ve benzeri yapılarda emniyetli kullanım açısından kullanıcı yükü sınırlamasına gidilmesi, yönlendirme sistemlerinin kullanılması, giriş ve çıkış sayısının arttırılması gibi tavsiyelerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 80117
Anahtar Kelimeler : Bina güvenliği, tahliye analizi, tarihi binalarda tahliye
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Doç. Dr. A. Yağmur TOPRAKLI

ANALYSIS OF EVACUATION IN ANCIENT ROMAN THEATERS: THE CASE OF ASPENDOS THEATER

(M. Sc. Thesis)

Şeyma SARITEPE

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2022

ABSTRACT

One of the important criteria of the safety of the structures is to ensure safe evacuation. Evacuation efficiency is important in buildings with historical heritage value and high user density, such as ancient theater. Modern evacuation standards may not be met in these structures. In this study, the evacuation activity of Aspendos Theater, which is an ancient Roman theater in Serik District of Antalya province, is examined. In this research, first, an observational study was made in the current use of theater. Afterwards, the evacuation efficiency was examined with a computer-aided simulation study. Observational evacuation measurement was made after a concert event on September 20, 2021. Then, a computer-assisted agent-based simulation model of the relevant structure was created, and the findings were evaluated by running the model in 5 different scenarios. In the observational study, the evacuation time of 1233 people was measured as 16 minutes. An attempt was made with the same number of people with the simulation model in scenario 00 and the evacuation time was measured as 7 minutes and 27 seconds. Afterwards, the full occupant load of the building was calculated by considering the standards specified in NFPA 101 and Turkish Fire Regulations. 4 scenarios were determined considering the walking speed (1.19 m/s and 1.38 m/s) with 5882 people, the exit points used today and the exit points in the original design. Accordingly, the evacuation time is 28 minutes 37 seconds in scenario 01a; 22 minutes 14 seconds in scenario 01b; 19 minutes 26 seconds in scenario 02a; In scenario 02b, it was measured as 17 minutes and 20 seconds. There are very limited studies in the literature on the evacuation of ancient theaters. This study contributes to the related field. Recommendations such as limiting the user load, using guidance systems, increasing the number of entrances and exits were made in terms of safe use in these and similar structures that are actively used in cultural activities.

Science Code	:	80117
Key Words	:	Building heritage safety, Evacuation Analysis, Evacuation in historical buildings
Page Number	:	83
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. A. Yağmur TOPRAKLI

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans sürecim boyunca akademik ve mesleki gelişimimde deneyimleri ve ileri görüşlülüğü ile benim için bir yol gösterici olan değerli hocam Doç. Dr. A. Yağmur TOPRAKLI' ya tüm katkıları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez değerlendirme jürisinde, vakit ayırıp yaptıkları değerli yorumlarından dolayı Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY ve Prof. Dr. Soofia Tahira ELIAS Özkan'a teşekkür ederim. Tez sürecimde deneyimlerini benimle paylaşan Arş. Gör. M. Selçuk SATIR' a desteği ve yardımları için teşekkür ederim. Tüm yaşamımda, her konuda beni destekleyen ve yanımda olan annem, ablalarım, abim ve tüm aileme var oldukları için, çok sevdiğim arkadaşlarım ve dostlarıma varlıklarından dolayı hep şanslı hissettirdikleri için çok teşekkür ederim. Son olarak varlığını ve sevgisini her zaman içimde hissettiğim canım babama bana öğrettiği tüm güzellikler için minnettarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. YAZIN TARAMASI 5

2.1. Roma Döneminde Toplanma Yapıları 5

2.1.1. Roma dönemi antik tiyatroları 6

2.1.2. Aspendos antik tiyatrosu 13

2.2. Bina Tahliyesi 15

2.2.1. Tahliye süresi 16

2.2.2. Yürüme hızı 18

2.2.3. Kullanıcı yükü 20

2.2.4. Binalarda merdivenlerin tahliyeye etkisi 21

2.2.5. Tahliyede insan davranışı 22

2.3. Tahliye Modelleri 24

2.3.1. SPFE tabanlı akış modeli 24

2.3.2. Özne temelli dümen modeli 25

2.4. Tarihi Yapılarda Tahliye Çalışmaları 26

Sayfa

2.4.1. Yapılmış Benzer Tahliye Çalışmaları 27

3. YÖNTEM 35

3.1. Aspendos Tiyatrosu Mimari Özellikleri 35

3.2. Pathfinder Benzetim Programı 39

3.3. Yapının Modelleme Süreci 42

3.3.1. Çıkış kapıları 43

3.3.2. Merdivenler 47

3.3.3. Seyirci kapasitesi tespiti 49

3.4. Normal Tahliye Gözlemi (mevcut durum ve 1233 kişi) 49

3.5. Benzetim Senaryoları 50

3.5.1. Senaryo 00 (mevcut durum, 1233 kişi ve 1,19 m/s yürüme hızı) 52

3.5.2. Senaryo 01a (mevcut durum, 5882 kişi ve 1,19 m/s yürüme hızı) 53

3.5.3. Senaryo 01b (mevcut durum, 5882 kişi ve 1,38 m/s yürüme hızı) 54

3.5.4. Senaryo 02a (orijinal tasarım, 5882 kişi ve 1,19 m/s yürüme hızı) 54

3.5.5. Senaryo 02b (orijinal tasarım, 5882 kişi ve 1,38 m/s yürüme hızı) 55

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 57

4.1. Tahliye Gözlemi Sonuçları 57

4.2. Tahliye Benzetim Modeli Sonuçları 59

4.3. Bulguların Karşılaştırılması 66

4.3.1. Gerçek durum ile benzetim modeli karşılaştırılması 66

4.3.2. Yürüme hızının tahliye süresine etkisi 67

4.3.3. Yapıda kullanılan merdiven ve çıkışların tahliye süresine etkisi 68

5. VARGI 71

5.1. Çalışmanın Kısıtlaması 75

Sayfa

5.2. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar 75

KAYNAKLAR 77

ÖZGEÇMİŞ 83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Roma ve Yunan tiyatroları arasındaki ana farklar 7

Çizelge 2.2. Roma tiyatrosunun bölümleri 8

Çizelge 2.3. Cinsiyetlere göre yatay yürüyüş hızları 19

Çizelge 2.4. Ülkelere göre ortalama yürüme hızı 19

Çizelge 2.5. NFPA 101 toplanma yapıları kullanıcı yükü katsayısı 20

Çizelge 2.6. Merdivenlerde ortalama yürüme hızı 21

Çizelge 2.7. Merdiven açısına göre erkek ve kadınlarda yürüme hızı 22

Çizelge 2.8. Çalışmada tahliye modellerinde kullanılan merdivenlerinin özellikleri ve model sonucundaki akış değerleri 29

Çizelge 2.9. Çalışmada tahliyesi yapılan stadyumun genel bilgileri 31

Çizelge 3.1. Aspendos Antik Tiyatrosu genel bilgiler 36

Çizelge 3.2. Tiyatro bölümlerinin kotları 42

Çizelge 3.3. Uluslararası Aspendos Opera ve Bale Festivali Gala Konser Etkinliğine Katılan Kişi Sayısı ve Doluluk Oranı 50

Çizelge 3.4. Benzetim modelinde oluşturulan senaryolar 50

Çizelge 4.1. Tahliye senaryolarının karşılaştırılması 57

Çizelge 4.2. Gözlem durumu ile Senaryo 00 karşılaştırması 67

Çizelge 4.3. Yürüme hızının değişken olduğu senaryolar 68

Çizelge 4.4. Yapı kullanım durumunun değişken olduğu senaryolar 69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Şekil 2.1 Vitrivius'a göre roma tiyatrosu planı 7

Şekil 2.2. Antik tiyatroların dünyadaki yoğunluğunu gösteren harita 10

Şekil 2.3. Epidaurus Tiyatrosu'nda 1961 yılında yapılan bir opera gösterisi 11

Şekil 2.4. Türkiye'deki antik tiyatroların konumları 12

Şekil 2.5. Aspendos tiyatrosu kısmi kesit perspektifi 13

Şekil 2.6. Acil durumlarda tahliye süreci 17

Şekil 2.7. Kullanıcı akışı ve yürüme hızı, kullanıcı yoğunluğu ve yürüme hızı, kullanıcı akışı ve kullanıcı yoğunluğu arasındaki ilişkiler 18

Şekil 2.8. Kişilerin yoğunluğunun yürüme hızına etkisi 20

Şekil 2.9. Tahliye süresi içinde süreçler 23

Şekil 2.10. Dümen modelinde örnek kullanıcı yönleri 25

Şekil 2.11. Ara noktaların gösterildiği planlanmış yol 26

Şekil 2.12. Kolezyum tahliye modeli 28

Şekil 2.13. Gazprom Arena tahliye modeli 28

Şekil 2.14. PWS (gri çizgi) ve CWS (siyah çizgi) için tahliye süresine ve yapıdan çıkan kullanıcı sayısı 30

Şekil 2.15. Tahliye başlamadan önce ve tahliyenin başlamasından 1 dakika sonra salonun görünümü 30

Şekil 2.16. Yapının kesiti üzerinde gösterilen tahliye yolu 32

Şekil 2.17. Tahliye yolları ve çıkışların gösterildiği 3F kat planı 32

Şekil 2.18. Tahliye sırasında merdiven ve birleşme alanlarında oluşan tıkanıklıkların gösterildiği 3F kat planı 33

Şekil 3.1. Aspendos Antik Tiyatrosu 0.00 kotu planı 36

Şekil 3.2. Aspendos Antik Tiyatrosu +8.60 kotu planı 37

Şekil 3.3. Aspendos Antik Tiyatrosu +19.40 kotu planı 37

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.4. Aspendos Antik Tiyatrosu doğu batı yönünden kesiti 38

Şekil 3.5. Aspendos Antik Tiyatrosu kuzey güney yönünden kesiti 38

Şekil 3.6. Pathfinder kullanıcı arayüzü 30

Şekil 3.7. Pathfinder'da oluşturulan modelin hareket alanlarının üçgen ağlar ile temsili 41

Şekil 3.8. DWG üzerinden yapılan modelleme 41

Şekil 3.9. Aspendos Antik Tiyatrosu ışınsal merdiven ve oturma yeri bölümleri 42

Şekil 3.10. Alt oturma yeri ve üst oturma yeri gösterimi 43

Şekil 3.11. 0.00 kotu çıkışları 45

Şekil 3.12. +8.60 kotu çıkışları 45

Şekil 3.13. +19,40 kotu çıkışları 46

Şekil 3.14. Pathfinder benzetim modelinde tam kapasite doluluk durumu 49

Şekil 3.15. Işınsal merdivenlerin isimlendirilmesi 51

Şekil 3.16. Yan merdivenlerin isimlendirilmesi 51

Şekil 3.17. Sahne binasındaki merdivenlerin isimlendirilmesi 52

Şekil 3.18. Senaryo 00 Pathfinder benzetim modeli 53

Şekil 3.19. Senaryo 01a Pathfinder benzetim modeli 53

Şekil 3.20. Senaryo 01b Pathfinder benzetim modeli 54

Şekil 3.21. Senaryo 02a Pathfinder benzetim modeli 55

Şekil 3.22. Senaryo 02b Pathfinder benzetim modeli 55

Şekil 4.1. Yapıda bulunan kullanıcı sayısı-zaman grafiği 59

Şekil 4.2. Seçilen kişinin m255 merdiveni üzerindeki aldığı yol 60

Şekil 4.3. Senaryo 00'da m255 merdivenindeki akış hızı grafiği 60

Şekil 4.4. Yapıda bulunan kullanıcı sayısı-zaman grafiği 61

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. Senaryo 01a'da tahliye başlangıcından 7 dakika 28 saniye sonra merdivenlerde oluşan yoğunluk 62

Şekil 4.6. m255 merdivenindeki akış hızı grafiği 62

Şekil 4.7. sm731 ve sm744 merdivenlerindeki akış hızı 63

Şekil 4.8. ym39 ve ym40 merdivenlerindeki akış hızı..... 63

Şekil 4.9. Yapıda bulunan kullanıcı sayısı-zaman grafiği 64

Şekil 4.10. Senaryo 01b'de kullanıcıların kullandıkları yollar 64

Şekil 4.11. Senaryo 02a'da yapıda bulunan kullanıcı sayısı ve zaman grafiği..... 65

Şekil 4.12. Senaryo 02a'da tahliye başlangıcından 6dk 45s sonraki durum..... 65

Şekil 4.13. Senaryo 02b'de tahliye başlangıcından 10 dk 24s sonraki durum ve kullanıcıların yürüdükleri yollar 66

Şekil 4.14. Oturma yeri merdivenlerinde sıra oluşumunun benzetim modelindeki görüntüsü..... 67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Tiyatronun genel görünümü 35

Resim 3.2. a) Geçit kapısı içten görünüm, b) Geçit kapısı dıştan görünüm..... 38

Resim 3.3. a) Tonozlu üst galeri, b) Üst galeriye açılan merdiven kapısı 39

Resim 3.4. *Diazoma'*da bulunan geçit kapıları ile 0.00 kotundaki kuzey giriş kapısı.... 46

Resim 3.5. a) Alt oturma yerinde bulunan ışınsal merdiven, b) Üst oturma yerinde bulunan ışınsal merdiven 47

Resim 3.6. a) *Diazoma*'dan üst oturma yerine çıkan yan merdivenler, b) *Diazoma*'dan üst oturma yerine çıkan yan merdivenler 48

Resim 3.7. a) Sahne binası merdivenleri iç görünüm, b) Sahne binası merdivenleri dış görünüm 48

Resim 4.1. a) Etkinlik giriş sırası, b) Etkinlik hazırlıkları 58

Resim 4.2. a) Dakika 01.01, b) Dakika 01.47, c) Dakika 02.01, d) Dakika 02.29 58

Resim 4.3. Konser sonrası oturma yeri merdivenlerinde sıra oluşumu..... 70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
cm	Santimetre
dk	Dakika
kişi/s	Kişi/Saniye
m	Metre
m²	Metrekare
m/s	Metre/Saniye
s	Saniye

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ASET	Available Safe Egress Time
BYKHY	Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
NFPA	National Fire Protection Association
RSET	Required Safe Egress Time
SFPE	Society of Fire Protection Engineers

1. GİRİŞ

Konunun tanımı

Yangın, saldırı, patlama gibi durumlarda, binaların fiziksel koşulları, izdiham ya da ortaya çıkan kimyasal maddeler can kayıplarına neden olmaktadır. Bu kayıpları önlemek ya da azaltmak için kullanıcıların gerekli güvenli çıkış süresi içerisinde binanın dışına veya bina içerisinde bir güvenli alana tahliye edilmesi gerekir. Özellikle spor ve tiyatro yapıları gibi kullanıcı yoğunluğu yüksek olan yapılarda tahliye önemlidir. Bu yapılarda seyirci bölümlerinde kullanıcı yoğunluğunun fazla olması ve kalabalık grupların eş zamanlı çıkışı normal tahliye anında çıkışlarda tıkanıklık ve izdihama sebep olabilir. Ayrıca kullanıcıların çıkış yollarını bilmiyor olması, çıkışlardaki dar boğazlar, seyirci koltuğu ve tribünler gibi faktörler tahliyeyi olumsuz etkileyebilir. Bu yapılarda güvenli tahliye binanın tasarımı ve tahliye planlaması ile sağlanabilir. Binaların tahliye performansını, binadaki tahliye bileşenlerinin etkilerini ve dar boğazları analiz edebilmek için normal tahliye analizleri yapılmaktadır. Son yıllarda artan performansa dayalı tasarım anlayışında tahliye planları bu analizlere göre yapılabilir. Tahliye analizi yapılırken her zaman gerçek ölçümler yapabilecek şartlar sağlanamayabilir. Bu durumlarda binanın tahliye performansını test etmek ve iyileştirmek amacı ile benzetim modelleri kullanılır. Benzetim modelleri sayesinde farklı senaryolarda tahliye analizi ve yapının kullanımı ile ilgili veri elde edilebilir.

Odak ve kapsam

Tezin odak noktası kullanıcı yoğunluğu yüksek olan yapıların Roma Dönemindeki bir örneği olan antik tiyatrolarda tahliye analizini incelemektir. Roma döneminde tiyatro yapıları, Yunan ve Helenistik dönemlere göre farklı özellikler göstermektedir. Çok katlı sahne yapısı, seyircilere ayrılmış oturma yerlerinin sınıflara ayrılması, tiyatronun bir yamaca yaslanması yerine kemer ve sütun üzerine yapılması ve bu sayede çıkış sayısının artması gibi özellikler Roma dönemi tiyatrolarını diğer dönemlerden ayırır. Çalışmada, Roma Dönemi antik tiyatrolarının tipik özelliklerini taşıyan ve Antalya Serik'te bulunan Aspendos Antik Tiyatrosu'nun tahliye süresi, yapılan benzetim modeli ve konser etkinliği sonrasında yapılan gözlemsel ölçüm ile belirlenmiştir.

Bu yapının seçilme nedeni antik tiyatrolar içinde döneminin yapısal özellikleri ile en iyi korunmuş antik tiyatrolardan biri olmasıdır. Ayrıca M.S. 200 yılında yapılmış olan yapının günümüzde hala kültürel etkinliklerde kullanılıyor olması, yapının tahliye analizinin yapılması için bir sebeptir. Aspendos'ta bulunan tiyatro ile ilgili yapısal ve akustik analiz çalışmaları yapılmıştır ama tahliye ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Araştırma sorusu

Aspendos'un yapıldığı dönemde tiyatroların çıkış ve geçitlerinin tahliye hesaba katılarak planlandığı Vitrivius'un yazdığı kitabında görülmektedir. Fakat bu planlamanın tahliyeye etkisi ölçülmemiştir. Bu bağlamda yapılacak olan çalışma ile aşağıdaki soruların cevaplandırılması amaçlanmaktadır.

S1: Bir Roma Antik Tiyatrosu olan Aspendos antik tiyatrosu, güncel kullanımda (4 çıkışlı) tam kapasite dolu iken kullanıcı tahliye süresi nedir?

S2: Aspendos antik tiyatrosu, orijinal tasarımında (11+4=15 çıkış) tam kapasite dolu iken kullanıcı tahliye süresi nedir?

S3: Yapının orijinal tasarımı ile günümüz kullanımının tahliye performansı açısından farkları nelerdir?

S4: Aspendos antik tiyatrosu için 2 farkı yürüme hızının (1,19 m/s ve 1,38 m/s) toplam tahliye süresine etkisi nedir?

Tezin hedefleri

Ana hedef Aspendos Tiyatrosu'nun tahliye süresinin ölçülmesidir. Yazın taramasında bu konuda daha önce yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Öncelikle 2020 Eylül ayında tiyatroda yapılan konser etkinliğinde video kaydı ve kronometre kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Sonrasında ölçüm için Pathfinder adlı program ile özne temelli (agent based) bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Yürüme hızının, kullanıcı yoğunluğunun ve yapıda bulunan kapılar, merdivenler ve geçitlerin yapının orijinal durumu ile mevcut durumundaki kullanımının tahliye süresine etkisinin ölçülmesi amaçlandığından senaryolar bu üç girdiye

göre oluşturulmuştur. Diğer bir hedef ise yapı günümüzde de kültürel etkinliklerde kullanıldığı için ileride yapılabilecek çalışma ve tahliye planlarına katkı sağlamaktır.

Tezin sınırları

•Yürüme hızı bağlamında yazında görülen en yaygın yürüme hızları (1,19 m/s ve 1,38 m/s) kullanılmıştır. Koşma, hareket engeli, bekleme gibi insan davranışları kapsam dışı tutulmuştur.

•Kullanılan benzetim modeli programında merdiven hızında el ile değişiklik yapılamamaktadır. Bu nedenle merdiven hızının etkisi programın izin vermemesi dolayısıyla kapsam dışında tutulmuştur.

•Benzetim modeli programında iki adet benzetim modu vardır. Bu modlardan özne temelli dümen modeli insan davranışını ve hareketini mümkün olduğunca taklit etmeye çalışır. SPFE modu ise kullanıcıları akışkan olarak ele alır. Bu nedenle programın modlarından SPFE kapsam dışı tutulmuştur.

•Tez çalışmasında kullanılan örnek yapının mevcut durumu rölöve çizimleri ve yerinde gözlem ile belirlenmiştir. Fakat orijinal durumu yazın taramasından hareketle tahmin edilmiştir.

2. YAZIN TARAMASI

2.1. Roma Döneminde Toplanma Yapıları

Antik Roma Uygarlığı M.Ö 9. yy ‘da kurulmuş ve 1200 yıl varlığını sürdürmüştür. Akdeniz çevresinde geniş sınırlara ulaşan uygarlık, sosyal, siyasal ve ekonomik olarak gelişmiştir. Bu gelişmişlik şehir planlaması ve mimariye de yansımıştır. Kültür ve medeniyetin merkezi olarak görülen şehirler, kamusal alanları ve yapıları ile ortak bir anlayış ile kurulmuşlardır (Altunbeğ Turgut, 2019).

Vitrivius’un M.Ö 1. yy ’da yazdığı *De Architectura,* arazi seçimi, sokak yönü, kamu yapılarının yerleşimi gibi konularda bir Roma şehrinin kuruluş ilkelerini açıklamıştır. Kentin ortasında ya da limanda forum, kenti gören yüksek yerlerde tapınaklar ve güneye bakmayan, rüzgâra karşı korunaklı bir arazide ise tiyatrolar yapılması bu ilkelerden bazılarıdır (Vitrivius, 1998, ss. 12-22, 102). Roma şehirlerinde toplanma amaçlı kullanılan kamu yapıları aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır

Odeum

Müzik ve şiir performansları için kullanılan odeum yapıları tiyatronun küçük halidir. Kapasitesi 300-1400 kişi arasındadır. Akustik amaçlarla üzeri çatı ile örtülmüştür. Roma döneminde tiyatrolar daha çok eğlence ve büyük gösteriler için kullanıldığından sanat gösterileri için odeumlar kullanılmıştır (Odeum | Theatre | Britannica, t.y.).

Amfi Tiyatro

Yuvarlak ya da elips şeklinde bir merkezin çevresine koltukların yerleştirilmesi ile yapılan amfi tiyatrolar gladyatör oyunları ve yarışmalar için kullanılmıştır. Bilinen ilk örneği M.Ö. 80 yılında Pompeii’de yapılmıştır. Roma amfi tiyatrolarının seyirci bölümleri farklı sınıfların kullanımı için galerilere ayrılmıştır. Amfi tiyatro altında yapılan geçitler sayesinde seyirci galerileri ile alt odalar arasında bağlantı sağlanmıştır. Yine bu geçitler ve çok sayıda yapılan giriş ile seyircilerin galerilere farklı sınıfları görmeden ulaşmaları sağlanmıştır (Amphitheatre | Architecture | Britannica, t.y.).

Hipodrom ve Circuslar

U şeklinde yapılan circusların her iki tarafında seyirci koltukları bulunmaktadır. Atletizm yarışmaları, at arabası yarışı, gladyatör dövüşleri için kullanılmıştır (Hippodrome | Architecture | Britannica, t.y.).

Meclis Binası (Bouleuterion)

Şehrin yönetici ve nüfuzlu ailelerinde oluşan kent meclisi (bouleuterion) toplantıları için yapılan yapılardır. Yapının mimarisi şehrin ve başındaki ailenin gücünü gösterirdi. Form olarak tiyatroya benzeyen yapılar üstü örtülü ve etrafı duvarla çevrili olarak yapılmıştır (Bouleuterion | Greek Architecture | Britannica, t.y.).

Tiyatro

Roma'da tiyatrolar dinsel gösterilerden daha çok eğlence amaçlı kullanılmıştır. Tiyatrolar aynı zamanda şehrin zenginliğini ve gücünü göstermek için yapılan ihtişamlı yapılardı (Dilmen, 2004).

Roma tiyatroları 3 ana bölümden oluşmaktadır; oturma yeri (*cavea*), orkestra ve sahne binası. *Cavea* yani seyirciler için yapılan oturma yerleri yarım daire şeklindedir. Işınsal merdivenler ve yatay geçişler ile bölümlere ayrılır. Oturma yeri altında yapılan tonozlu geçitler bu bölümler arasındaki bağlantıyı sağlar. Orkestra da oturma yeri gibi yarım daire şeklindedir. Orkestra önündeki ilk sırada şehrin yöneticilerine ayrılan özel koltuklar bulunur. Sahne binası ise çok katlı ve ihtişamlı yapısı ile oturma yerini tamamlayarak tiyatroda kapalı bir yapı algısı oluşturur (Sear, 1983 s.37).

2.1.1. Roma dönemi antik tiyatroları

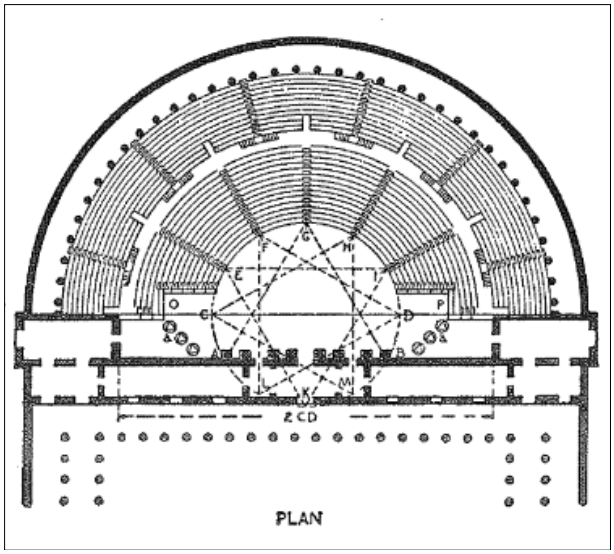
Roma'da M.Ö. 55'e kadar kalıcı bir tiyatro yapısı yapılmamıştır. Bu tarihe kadar yapılan gösteriler için geçici ahşap tiyatrolar yapılırdı. İlk taş tiyatro Pompeus tarafından M.Ö. 55 yılında yaptırılmıştır. Roma tiyatroları, coğrafya ve doğa koşullarına göre yapılmış olan Yunan tiyatrolarının daha gelişmiş hali olarak nitelendirilir. Antik dönem tiyatro yapıları

daha önce yapılan çalışmalarda Yunan ve Roma tiyatroları olarak ikiye ayrılarak incelenmiştir (Akyüz, 1993).

Çizelge 2.1. Roma ve Yunan tiyatroları arasındaki ana farklar (Bieber'den aktaran Aktüre,2005)

Yunan	Roma
Orkestra tam dairedir.	Orkestra yarım dairedir.
Sahne yüksek ve sığdır.	Sahne alçak ve derindir.
Sahne fonunda boyanmış dekorlar için geniş açıklıklar bulunur.	Fonu ihtişamlı sahne binası oluşturur.
Orkestraya yanlardan açık girişlerle girilir.	Yan girişler tonozludur.
Tüm izleyiciler yan girişleri ve ışınsal merdivenleri kullanır.	Çok sayıda giriş bulunur.
İzleme alanı bir tepe yamacına yaslanır, dolayısıyla dışa cephe vermez. Üstünde sütun dizisi bulunmaz.	İzleme alanı çoğunlukla düz arazide yükselir. Zengin bir cephesi ve üstünde sütunlu bir galeri bulunacak şekilde inşa edilir.
Yunan tiyatrosu, herkesin yerinin eşdeğer olduğu, dini ve demokratik bir yapıdır.	Roma tiyatrosu bir sınıf tiyatrosudur. Toplumun farklı sınıfları için farklı oturma yerleri vardır.

Roma ve Yunan tiyatroları arasındaki ana farklar iki toplumun kültürlerinden ve gelişmişlik düzeylerinden kaynaklanan farklardır. Fakat bu keskin bir ayrım değildir. Roma döneminin en belirgin özellikleri orkestra ve oturma yeri bölümlerinin yarım daire olması, tiyatronun bir yamaca ihtiyaç duymadan düz arazide kemer ve sütunlar üzerine yapılabilmesidir. Anadolu'da bulunan bazı tiyatrolarda ise bu özellikler yerine Yunan tiyatrosu özellikleri görülür (Aktüre, 2005).



Şekil 2.1. Vitrivius'a göre roma tiyatrosu planı (Vitrivius,2005 s.109)

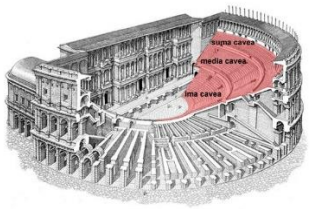
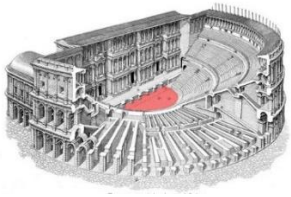
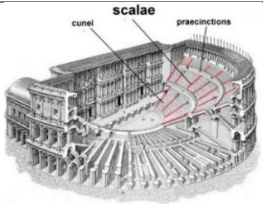
Vitrivius kitabında bir tiyatro yapısının planını detaylı bir şekilde anlatmıştır. Tiyatrolar, yeri ve merkezi seçildikten sonra bu merkeze dört eşkenar üçgen çizilerek planlanır. Bu üçgenlerin köşeleri basamakların yönünü belirler. Basamak ölçülerini ise 'yükseklikleri bir ayak ve bir avuçtan az, bir ayak ve altı parmaktan fazla olmamalıdır; derinlikleri de iki buçuk ayaktan fazla, iki ayaktan az olmamalıdır' şeklinde ifade etmiştir. Ayrıca kitapta tiyatronun izdiham olmadan tahliye edilebilmesi amacıyla girişlerin çok sayıda ve geniş olması gerektiğini belirtmiştir (Vitrivius, 2005 s.108).

Sear (2006), Roma tiyatrolarının her bölümünü ayrı ayrı incelemiştir. Örnek tiyatrolar üzerinden yaptığı çalışma ile bu bölümlerin kapasiteleri, dönemleri, ölçüleri ve yapısal özelliklerini tablo haline getirmiştir.

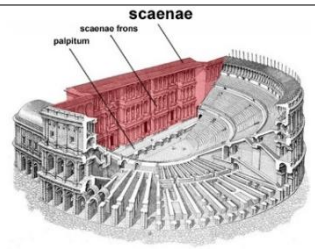
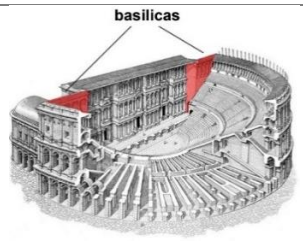
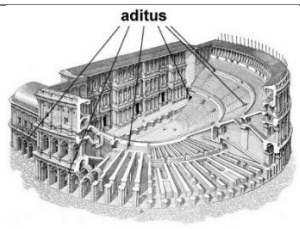
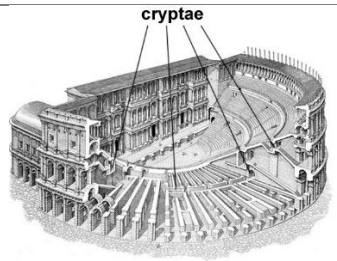
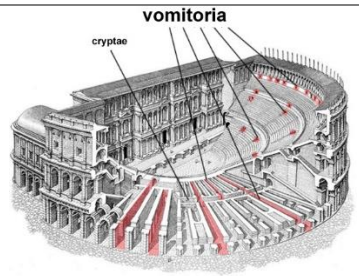
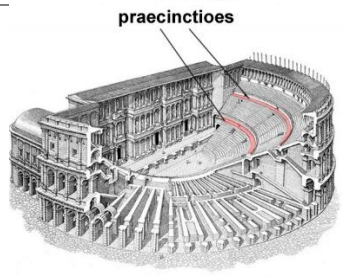
Özdilek (2016), daha önce yapılan çalışmaları tarayarak Lykia Tiyatrolarının özelliklerini bölümlerine ayırarak incelemiştir. Bu bölümlerin dönemlere göre geçirdiği değişiklikleri açıklamıştır.

Hines (2020) ise dünyadaki antik tiyatrolar ve tiyatroların bölümleri için görsel bir sözlük derlemesi yapmıştır. Bu çalışmalar ile aşağıdaki çizelge 2.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 2.2. Roma tiyatrosunun bölümleri (Hines, 2020)

Cavea	Seyircilerin oturma bölümü *cavea* olarak adlandırılır. Yatay geçişler ile *ima, media* ve *suma* olarak kademelendirilir. Merdivenler ile ayrılmış her bir bölüm ise *cuneus* olarak adlandırılır. Oturma yeri (*cavea*) yarım daire formundadır. Üstlerinde tonuzlu bir galeri bölümü bulunur. *Velum* adı verilen sistem ile üstü örtülür.	
Orkestra	Sahne ve oturma yeri arasındaki alana *orkestra* denir. Roma döneminde küçültülerek yarım daire formunu almıştır. Bu dönemde gösterilerden daha çok koro ve önemli izleyicilerin kullanımı için ayrılmıştır.	
Scalae	Oturma yerinde bulunan seyirci merdivenleridir.	

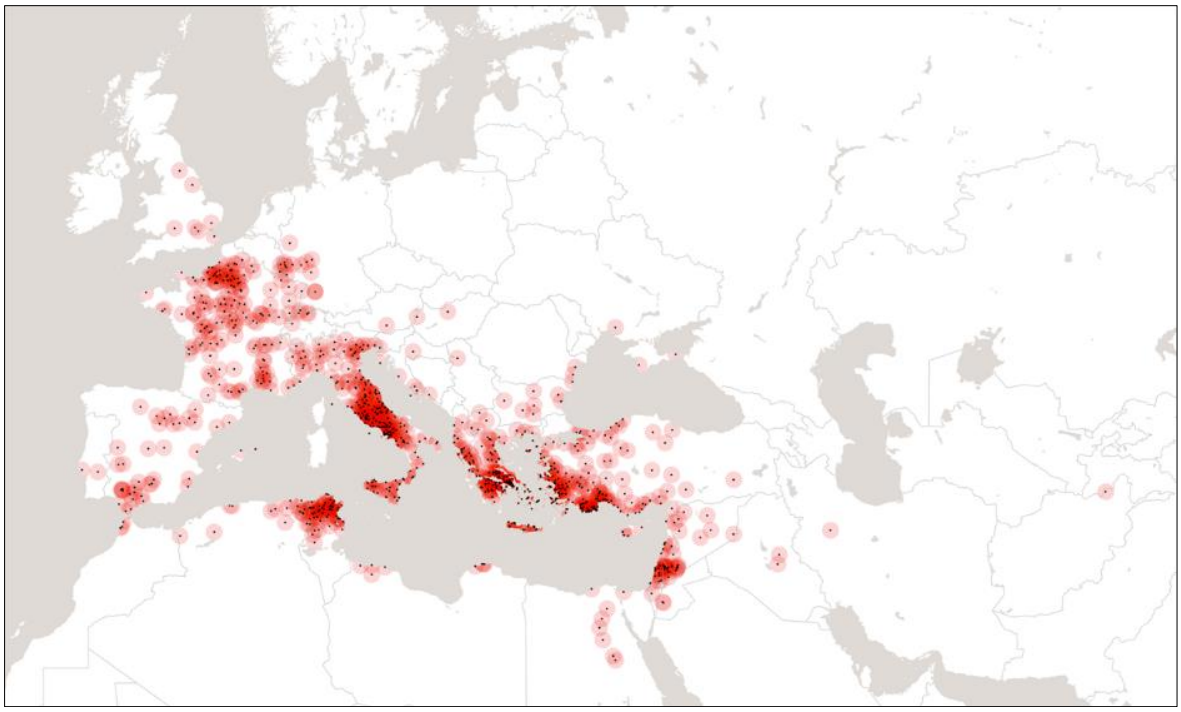
Çizelge 2.2. (devam) Roma tiyatrosunun bölümleri (Hines, 2020)

Sahne	Roma tiyatrolarında sahne binası çok katlı ve gösterişli yapılmıştır. Podyum olarak kullanılan ön bölüm ve arkada *scaenae frons* denilen binadan oluşur. Sahnenin *Scaenae frons*, hem arka sahne hem de oyuncuların soyunma odası olarak kullanılmıştır.	
Bazilika	Sahnenin her iki yanında birer tane olmak üzere, kule benzeri yapılara *bazilika* denir. Genellikle çatılı olan bu uzun, dikdörtgen yapılar bir tiyatro fuayesi işlevi görürlerdi. Sahneye *versurae* olarak adlandırılan kapılar ile ulaşılırdı.	
Aiditus	Tiyatro girişlerine *aiditus* denir. Orkestranın iki yanında bulunan tonozlu ana girişler *aditus maximus* olarak adlandırılır.	
Cyrptae	Seyirci trafiği için seyirci oturma yerlerinin altındaki geniş kavisli beşik tonozlu koridorlara *cyrptae* denir.	
Vomitoria	Tiyatro oturma alanına giden tonozlu geçitlerdir. Cryptae ile bağlanarak oturma yerinin altında seyircilerin çıkış ve girişini sağlarlar.	
Praecinctioes (*Diazoma*)	Oturma yerinde üst ve alt oturma sıralarını birbirinden ayıran, oturma sıralarıyla eş merkezli koridorlardır.	

Antik Roma tiyatrolarının yapıldıkları dönemde yapım tekniği ve kullanımları ile ilgili bilgileri Vitrivius'un yazdığı Mimarlık Üzerine adlı kitaptan edinebilmekteyiz. Kitapta

gösteri sonrasında tiyatro yapılarının güvenli tahliye edilebilmesi ile ilgili tasarım kararı ‘değişik girişler çok sayıda ve geniş olmalı, … böylelikle insanlar gösterilerden çıkınca, her bölümden ayrı ve engelsiz çıkış olacağından kalabalık oluşmayacaktır.’ (Vitrivius, 1998) şeklinde ifade edilmiştir. Bu ifade ile Antik Roma tiyatrolarının yapıldıkları dönemde kalabalık kullanıcı grupları düşünülerek tasarlanmış olduğu anlaşılabilir.

Türkiye’de ve dünyada, Roma döneminde yapılmış ve korunarak günümüze kadar ulaşmış olan çok sayıda antik tiyatro yapısı mevcuttur. Bu tiyatrolardan kullanılabilir durumda olanlar günümüzde turistik ziyaretlerde ve kültürel faaliyetlerde kullanılmaktadır. Bu bölümde yazın taraması ile hakkında bilgi edinilen Roma tiyatroları anlatılacaktır. Tiyatrolar bulundukları bölge, korunma durumu ve günümüzdeki işlevlerine göre ele alınmıştır. Şekil 2.2’de verilen haritada antik tiyatroların Akdeniz havzası ve çevresindeki dağılımı görülmektedir. Bu haritaya göre antik tiyatrolar günümüzde İtalya, Yunanistan ve Türkiye’de yoğun olarak bulunmaktadır.



Şekil 2.2 Antik tiyatroların dünyadaki yoğunluğunu gösteren harita (Pedersoli ve Paronuzzi, 2010)

Yunanistan’daki antik tiyatrolar için kültür bakanlığının insiyatifi ile 2008 yılında kurulmuş bir sivil toplum örgütü olan ‘*Diazoma’* ile antik tiyatroların bugün kullanılması ve korunması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile korunmuş ve günümüzde

kullanımda olan tiyatrolara örnek olarak Epidaurus Tiyatrosu verilebilir. Tiyatro 1907 ve 1988 yılları arasında yapılan restorasyon çalışmaları ile sahne binası hariç neredeyse tamamen orijinal halini almış ve 1938 yılında modern gösteriler sahnelenmeye başlanmıştır. Günümüzde ise büyük müzik ve tiyatro etkinliklerinde kullanılmaktadır.



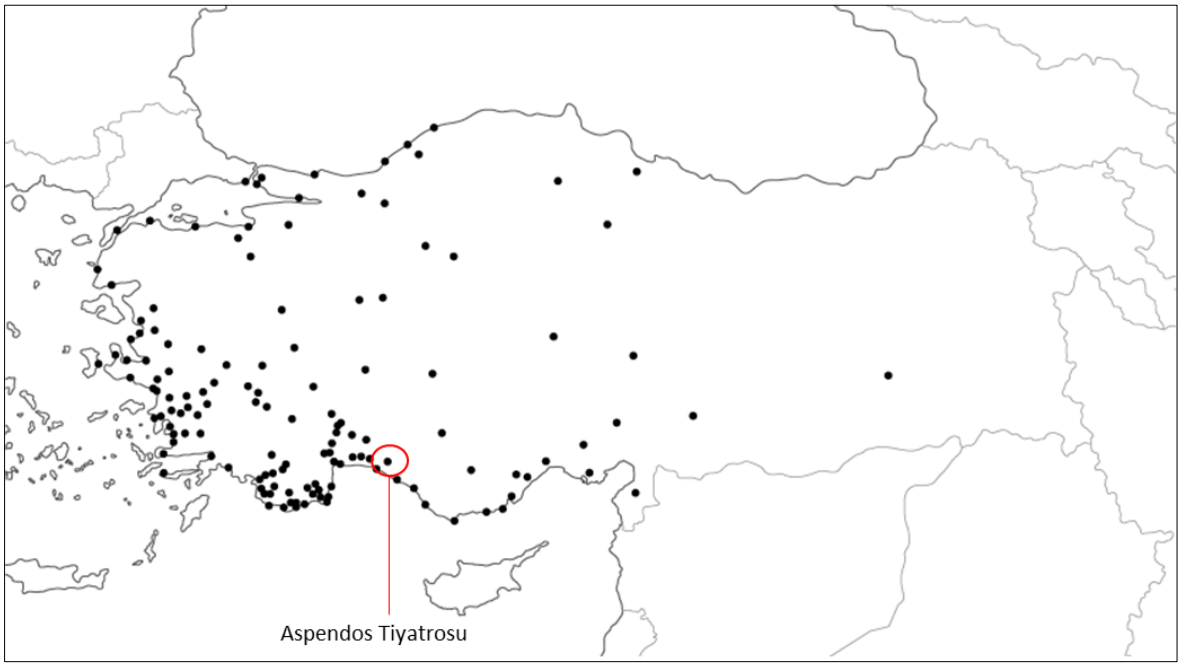
Şekil 2.3 Epidaurus Tiyatrosu'nda 1961 yılında yapılan bir opera gösterisi (Lambrinoudakis, 2019)

İtalya'da 2002 yılında yapılan bir çalışmada antik Yunan ve Roma tiyatrolarının sayımı yapılarak, 191 tiyatro yapısı tespit edilmiştir. Günümüzde kültürel etkinliklerin gerçekleştirilmesi için kullanımda olan tiyatro sayıları ise değişmektedir (Banfi, 2010).

Banfi (2010), İtalya'da kullanımda olan antik tiyatroları belirleyerek kullanım durumu, tarih ve türlerine göre fotoğraflayarak liste oluşturmuştur.Örneğin Benvento Tiyatrosu, 1950'de kültürel etkinlikler için kullanılmaya başlamıştır. Tiyatro yaklaşık 1.800 seyirci kapasitesine sahiptir. Opera, drama, dans ve senfonik, caz ve pop müzik konseri gibi farklı gösteri türleri için kullanılır. Capo di Pula Tiyatrosu, M.S. 2. yüzyılda inşa edilmiştir. 1983 yılından bu yana temmuz ve ağustos aylarında Şairler Gecesi Festivali'ne ev sahipliği

yapmaktadır. Bir diğer örnek olan Taormina Tiyatrosu, uluslararası 'Taormina Arte' festivali için kullanılmaktadır.

Yazında Türkiye'de bulunan antik tiyatroların sayısı 115 olarak geçmektedir. (Pereira, 2007). Günümüzde hala varlığını sürdüren antik tiyatrolar çoğunlukla Batı Anadolu'da bulunmaktadır. Şekil 2.4'te Türkiye'de bulunan antik tiyatroların yerleri harita üzerinde gösterilmiştir (Pedersoli ve Paronuzzi, 2010). Roma döneminde yapılmış ve günümüzde kültürel etkinliklerde kullanılan antik tiyatrolara Aspendos, Hierapolis, Perge, Side, Ephesos, Bodrum Halikarnassos örnek olarak gösterilebilir. Devlet Opera ve Balesi Genel Müdürlüğü tarafından düzenlenen festivaller ve özel gösterilerde bu tiyatrolar kullanılmaktadır. Tiyatroların kullanılabilmesi için yapısal bir değişiklik yapılmadan orkestra bölümüne geçici sahneler kurulmaktadır.

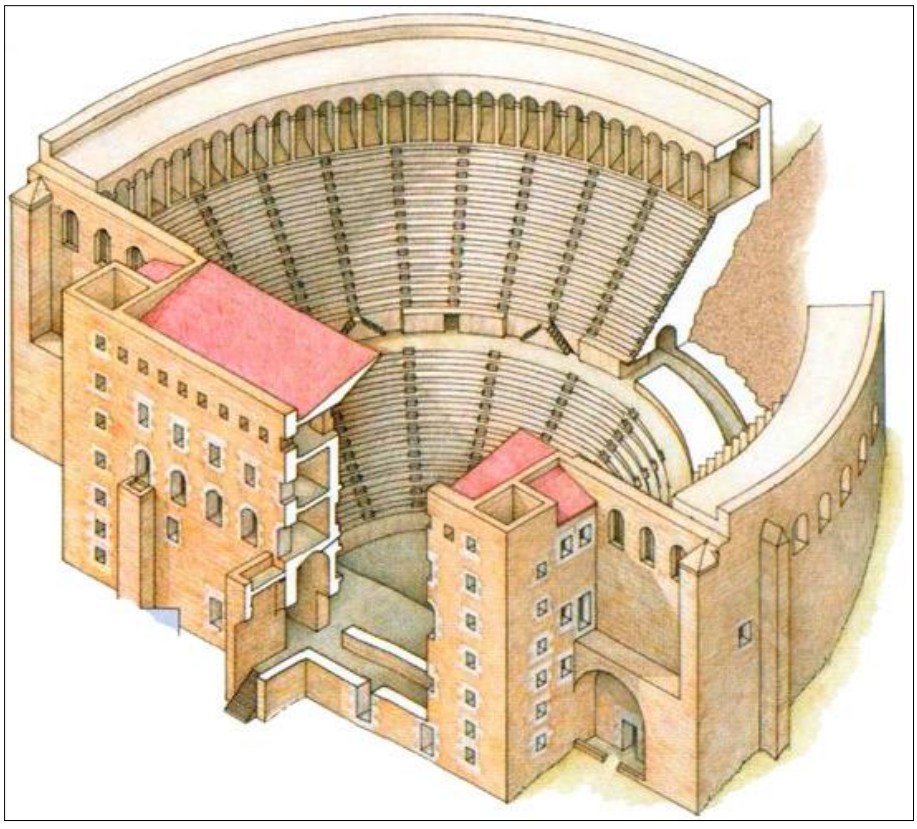


Şekil 2.4. Türkiye'deki antik tiyatroların konumları (Pedersoli ve Paronuzzi, 2010)

Antik Tiyatroların günümüzdeki kullanımları ile ilgili restorasyon çalışmalarının yanında 3D rekonstrüksiyon ve akustik ölçümlerin yapıldığı farklı çalışmalar yayınlanmıştır (Gabellone vd., 2017; Iannace ve Trematerra, 2018; Sato vd., 2002). Tiyatroların günümüz kullanımları için acil ya da normal tahliyeleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.1.2. Aspendos Antik Tiyatrosu

Aspendos, M.S. 43 yılında Roma İmparatorluğu sınırlarına dâhil edilen Lykia-Pamphylia Eyaleti'ne bağlı bir antik kenttir (Kaya, 2005). Günümüz Antalya ilinin Serik ilçesinde bulunmaktadır. Kentte bulunan tiyatro dünyada bulunan antik Roma tiyatroları arasında en iyi korunmuş örneklerden biridir. Marcus Aurelius (MS 161-180) döneminde inşa edilen tiyatronun mimarı Xenon'dur. Roma dönemi boyunca kullanılan tiyatro 13.yy 'da şehrin Selçukluların egemenliğine girmesi ile restore edilerek kervansaray olarak kullanılmıştır. Selçuklular döneminde yapılan onarım izleri sahne binasının dış cephesine yapılmış anıtsal kapı ve cephe sıvalarında görülmektedir (Dilmen, 2004). Tiyatro Roma tiyatrolarının tipik özelliklerini taşımaktadır. Oturma yeri ve sahne binası bir bütün olarak yapılmış kapalı bir tiyatrodur. Bu özelliği ile Türkiye'de günümüze ulaşmış örnekler arasında tektir. Bir yamaca yaslanmış olan oturma bölümünün üst kısmı tonozlu bir geçitle desteklenmiştir. (Pereira, 2007).



Şekil 2.5. Aspendos tiyatrosu kısmi kesit perspektifi

Tiyatronun oturma yeri bölümünün çapı 96 m'dir. 40 sıra oturma sırası bir koridorla (*diazoma*) ikiye ayrılmıştır. Oturma yerinin alt bölümünde 10 adet merdiven sırası üst bölümünde ise 21 adet merdiven sırası bulunur. *Diazoma*'dan üst bölüme altı adet çift merdiven ile çıkılır. En üstünde ise sahne binasının yüksekliği ile aynı hizada tonozlu bir galeri bulunur (Boz, 2006). Sahne binası, 62,48m uzunluğunda ve 4,10m eninde çok katlı bir binadır. Skene binasının iki ucunda, üst kata bağlantıyı sağlayan merdivenler yer alır. Sahne girişi olarak kullanılan beş kapı vardır. Ortadaki kapı en büyüğüdür ve Selçuklular döneminde önüne anıtsal bir ek yapılmıştır. Sahne binasının en üstünde oturma yerindeki galeriye denk gelen 17 pencereli bir kat bulunur. Bu pencerelerin altında ve üstünde konsollar oturmaktadır. Bu konsollar, oturma yerinin üzerine gerilen tentenin direklerini taşımak içindir (Dilmen, 2004).

Aspendos Tiyatrosu ile ilgili bugüne kadar yapılmış çalışmalar genellikle akustik performansı ile ilgilidir. ERATO projesi ile Roma ve Yunan döneminde yapılmış tiyatro ve çatılı odeumların, 3 boyutlu sanal ortamda tanımlanması, görsel restorasyonu ve akustik mirasının canlandırılması amacıyla Aspendos Tiyatrosu'nda da çalışılmıştır.

Dilmen (2004), bu proje kapsamında tiyatroda yaptığı ölçümlerin sonucunda Aspendos Tiyatrosu'nun akustik performansının kusursuz olmadığını fakat mevcut durumuna göre oldukça iyi akustik koşullar sağladığını söylemiştir. Kapalı hacimleri değerlendirme amacıyla oluşturulan parametrelere göre tutarlı sonuçlar vermiştir.

Pereira (2007), tiyatroda yapılan Opera ve bale festivali kapsamında yapının kullanımı sırasında karşılaşılan sorunları açıklamış ve öneriler sunmuştur. Tiyatroda yapılan gösterilerde seyircilerin hareketlerinin giriş ve çıkışlarda yoğunluk yarattığını belirtmiştir. Acil durumlarda uygulanabilecek acil durum planı oluşturulması gerektiğini söylemiş ve bu plan kapsamında alınabilecek önlemleri açıklamıştır.

Boz (2006), tiyatronun strüktürel analizini yapmak amacıyla afet yönetmeliğinde belirtilen deprem yükleri altında yapının davranışını ölçmüştür. Gerçek ölçümler ve yapının bilgisayar ortamındaki analitik modeli üzerinde yapılan analizlerden elde edilen değerlerin benzerlik gösterdiğini gözlemlemiştir. Yapılan deprem analizleri sonunda ortaya çıkan sonuç yapının kendi ağırlığı ve Afet Yönetmeliğine uygun olarak hesaplanan deprem yüklerinin yapıya hasar vermeyecek derecede olduğunu söylemiştir.

2.2. Bina Tahliyesi

Binalarda yaşanabilecek yangın, saldırı, patlama, kimyasal madde yayılımı gibi acil müdahale gerektiren durumlarda güvenli tahliyenin sağlanması bina güvenliğinde en önemli faktörlerden biridir (Alginahi et al., 2019). Acil durumlar dışında da konser salonu, tiyatro, spor salonu, arena gibi yapılarda, kalabalık kullanıcı grupları, eş zamanlı kalabalık çıkışlar, dar boğazlar, seyirci koltuğu ve karmaşık bina tasarımları gibi tahliyeyi etkileyen faktör sayısı arttığı için normal tahliye sırasında tıkanıklık ve izdiham yaşanabilir (Minegishi & Takeichi, 2018; Zheng vd., 2009). Yapılarda tahliye süresi tatbikatlar ve benzetim modelleri ile ölçülebilir. Bununla birlikte, tahliye süresi tahminine göre yapıların güvenli olup olmadığı söylenebilir (Minegishi & Takeichi, 2018; Tavares, 2009).

Tarihi yapılar tahliye güvenliği açısından farklı sorunlar içerir (Carattin & Brannigan, 2012). Tarihi yapıların yapısal özellikleri modern yapılara göre farklılık gösterir. Örneğin merdiven rıht yükseklikleri, kapı genişlikleri standart ölçülerde olmayabilir. Bu da tahliye edilen insanlar için bir karmaşa yaratır ve tahliye yavaşlar. Bu yapılarda tahliye güvenliğini artırmak için alınabilecek önlemler, yapıların özelliklerini korumakla çelişebilir. Kodlara ve yönetmeliklere uymak için geri döndürülemez müdahaleler gerekebilir (Bernardini vd., 2016; D'Orazio vd., 2016).

Kullanıcı yoğunluğu yüksek yapılarda tribün ve seyirci koltuklarının çıkışları, kaçış yollarının genişliği, sayısı ve birbirleri ile ilişkisi tahliye sırasında önemli rol oynamaktadır (Gravit vd., 2020). Tahliye süresi binanın mimari özellikleri ile tahliye edilen kullanıcılara bağlı olarak değişmektedir. Bu öznelerin doğru tanımlandığı oranda oluşturulacak tahliye modellerinde doğru sonuç elde edilebilir.

Literatürde bu özneler farklı sınıflandırmalar ile açıklanmıştır. Gwynne (1999), tahliyeyi aşağıdaki öznelerin etkilediğini söylemiştir.

- Yapının fiziksel özellikleri (kat sayısı, çıkış sayısı, çıkışların büyüklüğü)
- Yapıdaki engeller, (merdivenler, kapılar vb.)
- Yapının işlevi (ofisler, hastane, hapishane, okul, tiyatro vb.)
- Kullanıcı doğası (kişi sayısı, yaş/cinsiyet dağılımı, karşılıklı ilişkiler, fiziksel özellik dağılımı, yapıya aşinalık, roller vb.)

• Çevresel faktörler (gece/gündüz, mevsimsel, enkaz, tabela, duman, ısı, zehirli gazlar, tahriş edici gazlar vb.)
• İnsan davranışı (S. Gwynne vd., 1999)

İnsan davranışı ölçülemediğinden tahliye modelinin tekrarlanabilir olması açısından sorun yaratır. İnsan davranışı bölüm 2.2.5.'te ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.2.1. Tahliye süresi

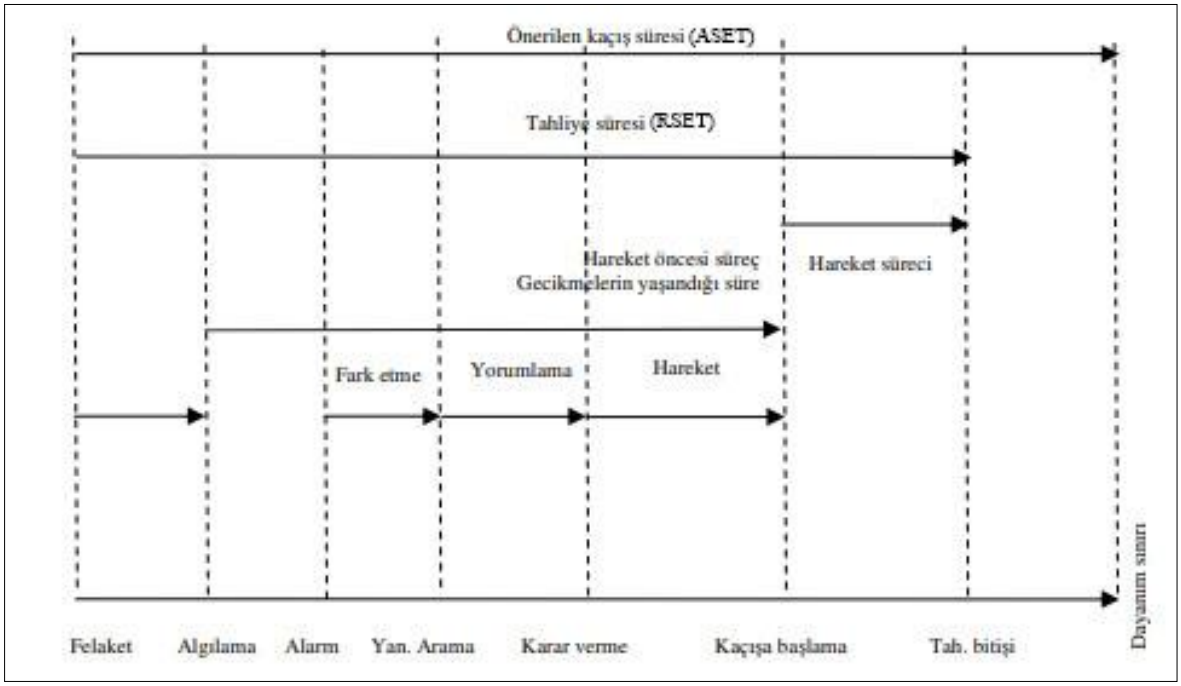
Tahliye edilen kişinin hareket süresinin tahmin edilmesi, performansa dayalı tasarım yaklaşımı için tahliye analizinde önemli bir bileşendir. (S. M. V. Gwynne & Rosenbaum, 2016) Tahliye süresi, binadaki tüm kullanıcıların tehlikeyi fark edip güvenli bölgeye ulaştıkları süreyi ifade eder. Tahliye süresi yalnızca kullanıcıların çıkışlara doğru hareket ettikleri süre değildir. Harekete başlamadan önce geçen süre de tahliye süresine dâhil edilir. (Graat vd., 1999; Galea vd., 2017) Hareket öncesi süreç genel bir alarm sinyalinin, uyarının verildiği veya diğer ipuçlarının alındığı zaman ile ilk kasıtlı tahliye hareketinin yapıldığı zaman arasındaki aralıktır. Bu süreç insanların psikolojik durumu, davranışı ve birbirleri ile ilişkisine bağlı olduğundan ölçülmesi zordur. Bazı durumlarda hareket öncesi süreç hareket sürecinden fazladır (Haghani & Sarvi, 2017). Hareket öncesi süreç tahliyenin algılanması ve karar verme süreçleri olarak ikiye ayrılır.

Hareket süresi ise hareketin başladığı ilk andan binadaki son kişinin güvenli alana geçişine kadar olan süreyi ifade eder. Bu süreç hareket hızı, binanın fiziksel özellikleri, dar boğazlar gibi fiziksel özelliklere bağlı olduğu için ölçmek kolaydır. (Alp, 2011). Hareket mesafesi ve yürüme hızı hareket süresini etkiler.

$T1=ty + ts + tf$

Hareket süresi: T1
Yürüme süresi: ty
Çıkışlarda sıra oluşumu süresi: ts
Çıkışlardan geçmek için gereken zaman (akış): tf

Toplam tahliye süresi içerisinde iki alt bileşen vardır. Tehlikenin başlama anından, tahliye edilenlerin güvenli bölgeye ulaştıkları ana kadar geçen süre gerekli güvenli tahliye süresidir. Literatürde RSET olarak ifade edilir. Tehlikenin başlama anından, tehlikenin dayanılabilir sınıra ulaştığı ana kadar geçen süre ise mevcut güvenli tahliye süresidir. Literatürde ASET olarak kısaltılır (Ng & Chow, 2006). Gerekli güvenli çıkış süresi (RSET), mevcut güvenli çıkış süresinden (ASET) yeterince kısaysa, yangından güvenli çıkışın sağlandığı varsayılır; burada ASET, bir binadaki yangının neden olduğu koşulların savunulamaz hale gelmesine kadar geçen süre olarak tanımlanır (S. M. V. Gwynne & Rosenbaum, 2016)



Şekil 2.6. Acil durumlarda tahliye süreci (Alp, 2011)

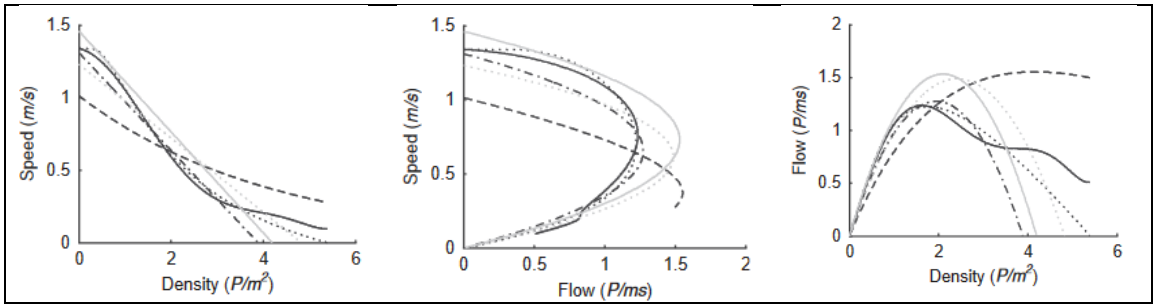
Belirli bir binanın tahliye süresini hesaplamak için, tahliye sırasında üç farklı veri kullanılır. En yaygın veri türü hareket hızıdır. Hareket hızı, hem birim zaman başına alınan mesafe (m/s) olarak açıklanır. Yoğunluk tahliye süresi hesaplarında kullanılan ikinci bir veri türüdür. Yoğunluk, birim alan başına var olan kişi sayısı (kişi/m2) olarak açıklanır. Kullanılan üçüncü veri türü, çeşitli yapı bileşenlerinde kullanıcıların akışıdır. Kullanıcı akışı, yapı bileşeninde belirli bir noktayı geçen kişi sayısıdır. Genellikle merdivenlerde veya bir kapıda birim zamanda geçen kişi sayısı olarak ifade edilir (Alp, 2011).

Tahliye süresi, kullanıcıların hareketi ve karar verme süreçlerine bağlı olan bileşenler ile hesaplanır. Kalabalık içerisindeki insan hareketi hesaplanabilir iken hareket eden insanın tahliye anındaki karar verme süreci, psikolojisi gibi bileşenlerin kesin bir hesabı yoktur. Tahliye anında kalabalık davranışının hesaplanması amacıyla çeşitli uzmanlık alanlarını içeren bir araştırma alanı geliştirilmiştir (Haghani, 2020). Bu alanda yapılan araştırmalar bölüm 2.2.5. tahliyede insan davranışı başlığı altında incelenmiştir.

2.2.2. Yürüme hızı

Binalarda tahliye analizleri yapılırken tahliye süresinin hesaplanmasında kullanıcı akış hızı ve yürüme hızı gibi veriler kullanılır. Kullanıcıların hareketi, amacı, zekâsı ve fiziksel özellikleri, yüzeyin eğimi veya pürüzlülüğü, yürüme yolunun iç ya da dış ortamda olması, büyüklüğü, merdiven basamaklarının yüksekliği gibi faktörlerden etkilenir (Rahman vd., 2012).

Daamen vd. (2005), kullanıcı akışı ile yürüme hızı, insan yoğunluğu ile yürüme hızı, kullanıcı akışı ve kullanıcı yoğunluğu arasındaki ilişkileri gözden geçirip deneysel olarak sorgulamış ve bu ilişkilerin yapıları planlamak ve performanslarını değerlendirmek için önemini vurgulamıştır.



Şekil 2.7. Kullanıcı akışı ve yürüme hızı, kullanıcı yoğunluğu ve yürüme hızı, kullanıcı akışı ve kullanıcı yoğunluğu arasındaki ilişkiler (Daamen vd., 2005)

Rahouti vd. (2021), yaptıkları yazın taraması çalışmasında daha önce yapılmış çalışmalardaki verileri bir araya getirerek, cinsiyet ve yaşın yürüme hızına etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçları çizelge 2.3'te verilmiştir. Bu çalışmaya göre gençler yaşlılara göre, erkekler kadınlara göre daha hızlı yürüdüğü görülmektedir.

Çizelge 2.3. Cinsiyetlere göre yatay yürüyüş hızları (Rahouti vd., 2021)

		Ortalama Yürüme Hızı (m/s)
Kullanıcıların Özellikleri	Erkek	1,51
		1,41
		1,41
		1,30
	Ortalama Erkek	1,41
	Kadın	1,41
		1,35
		1,28
		1,24
	Ortalama Kadın	1,32
	Genç	1,46
		1,36
	Ortalama Genç	1,41
	Ortalama yürüme hızı	1,38*
*Ortalama hız hesabı (1.41+1.32+1.41)/3=1.38 m/s		

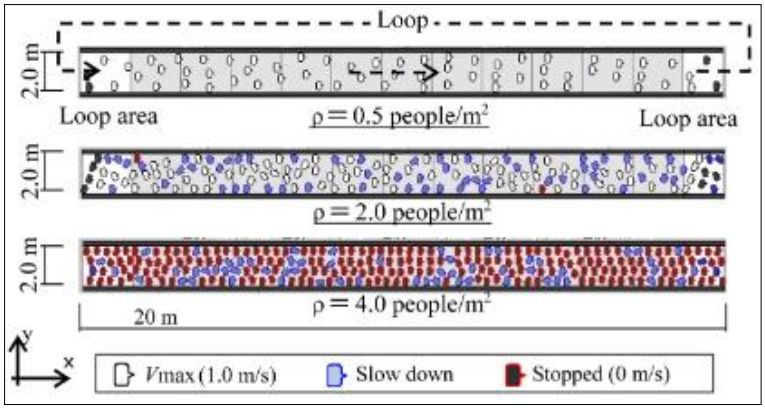
Rahman vd. (2012), farklı ülkelerdeki ortalama yürüme hızlarını çizelge haline getirmiş ve Bangladeş Dakka'da bulunan bir cadde örneği üzerinde fotoğraflama ile veri toplayarak buradaki ortalama yürüme hızını bulmuştur. Bu çalışma sonucunda elde edilen ortalama yürüme hızları çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Ülkelere göre ortalama yürüme hızı (Rahman vd., 2012)

	Ülke	Ortalama yürüme hızı (m/s)
Asya	Suudi Arabistan	1,08
	Hindistan	1,20
	Çin	1,20
	Bangladeş	1,20
	Tayland	1,22
	Singapur	1,23
	Sri Lanka	1,25
	İsrail	1,31
Avrupa	İngiltere	1,47
	Avusturya	1,54
Kuzey Amerika	Amerika	1,47
	Amerika	1,35
	Kanada	1,40

Minegishi ve Takeichi (2018), tahliye edilen kişilerin birikiminin yürüme hızına etkisini kontrol etmek için bir benzetim modeli oluşturmuşlardır. Modelde 20m uzunluğunda 2m genişliğinde bir geçit oluşturulmuştur. Bu geçitte kişiler eşit biçimde dağıtılarak soldan

sağa döngüsel olarak yürümeleri sağlanmıştır. Geçitteki insan yoğunluğu seyrekten yoğuna doğru 3 kademede oluşturulmuştur. Bu benzetim modeline göre en seyrek geçitteki grupta yürüme hızı sabitken yoğunluk arttıkça yürüme hızında değişimler görülmektedir. Şekil 5'te geçitlerdeki yoğunluğa göre yürüme hızları görülmektedir.



Şekil 2.8. Kişilerin yoğunluğunun yürüme hızına etkisi (Minegishi & Takeichi, 2018)

2.2.3. Kullanıcı yükü

Kullanıcı yükü, bir binada ya da binanın esas kabul edilen bir bölümünde bulunma ihtimali olan toplam kişi sayısı olarak tanımlanmıştır (NFPA 101,2021 s.82). Binalarda kişi başına düşen kullanım alanı ise kullanıcı yük katsayısı olarak m2/kişi cinsinden ifade edilir. NFPA 101 Tablo 7.3.1.2'de bu kullanıcı yükü katsayıları toplanma yapılarında oturma yeri tiplerine göre ayrılmıştır. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Ek-5a'da kullanıcı yükü katsayısı tablosunda binalar kullanım alanlarına göre ayrılmış ve m2/kişi cinsinden bir katsayı belirlenmiştir. Konferans salonu, çok amaçlı salon, konser ve tiyatro salonları için bu katsayı 1,5 m2/kişi olarak belirlenmiştir (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik [BYKHY], 2007: madde 32).

Çizelge 2.5. NFPA 101 toplanma yapıları kullanıcı yükü katsayısı

Toplanma Yapıları	m2/kişi
Yoğun kullanımlı, sabit koltuk olmayan	0,65
Yoğun olmayan kullanımlı, sabit koltuk olmayan	1,4
Bank tipi oturma yerleri olan	1kişi / 45,5 cm
Sabit koltuklu	Sabit koltuk sayısı

2.2.4. Binalarda merdivenlerin tahliyeye etkisi

Merdivenler, insanların tahliyesi için bir bariyer olması açısından kullanıcı yoğunluğu yüksek yapılarda kritik önem taşır. Merdiven hareketi yürümekten oldukça farklıdır. Fruin (1970), merdiven çıkarken harcanan toplam enerjinin, dikeyde gidilen mesafe ile aynı olan yatay bir mesafede yürümekten on ile on beş kat daha fazla olduğunu söylemiştir. Merdivende hareket etme, merdiven basamaklarının büyüklüğünden, denge sağlama çabasından ve yerçekimine karşı yapılan bir hareket olmasından dolayı düz bir alanda yapılan harekete göre daha kısıtlandırılmıştır (Fruin, 1970). NFPA 101'de merdivenler için standart ölçüler verilmiştir. Bu standartta belirtilene göre bir merdiven için rıht yüksekliği en yüksek 18 cm, en düşük 10 cm, basamak genişliği ise en düşük 28 cm olmalıdır (NFPA 101,2021). Bir kaçış merdiveninde basamak yüksekliği 175 mm'den çok ve basamak genişliği 250 mm'den az olamaz (BYKHY, 2007: madde 41).

Merdivenlerdeki hareket hızı, basamak genişliği ile rıht yüksekliği arasındaki açıya göre değişiklik gösterir. Bu konuda daha önce yapılmış olan çalışmalarda elde edilmiş olan, farklı yaş ve cinsiyetteki insanların merdivenlerdeki ortalama yürüme hızları aşağıdaki çizelge 2.6'da verilmiştir (Kuligowski vd., 2014).

Çizelge 2.6. Merdivenlerde ortalama yürüme hızı (Kuligowski vd., 2014)

		Kişi özellikleri	Basamak genişliği (cm)	Rıht yüksekliği (cm)	Yürüme hızı (m/s)
Fruin	İç mekân	Erkek/30 yaş altı	28,6	17,8	0,98
		Erkek/30-50 yaş			0,81
		Erkek/50 yaş üstü			0,67
		Kadın/30 yaş altı			0,70
		Kadın/30-50 yaş			0,60
		Kadın/50 yaş üstü			0,56
	Dış mekân	Erkek/30 yaş altı	30,5	15,2	1,10
		Erkek/30-50 yaş			0,96
		Erkek/50 yaş üstü			0,71
		Kadın/30 yaş altı			0,79
		Kadın/30-50 yaş			0,77
		Kadın/50 yaş üstü			0,66
Tanaboriboon and Guyano			30	20	0,58
Frantzich			30	15	0,3-1,3

Fujiyama & Tyler (2004)'ın yaptığı bir diğer çalışmada ise insanların fiziksel özellikleri ile merdivenlerde yürüme hızı arasındaki hızı araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda görüldüğü gibi basamak genişliği ile rıht yüksekliğinin oluşturduğu açı arttıkça merdivenlerde ortalama yürüme hızı azalmaktadır. (Fujiyama & Tyler, 2004). Bu araştırma sonucu çizelge 2.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.7. Merdiven açısına göre erkek ve kadınlarda yürüme hızı (Fujiyama & Tyler, 2004)

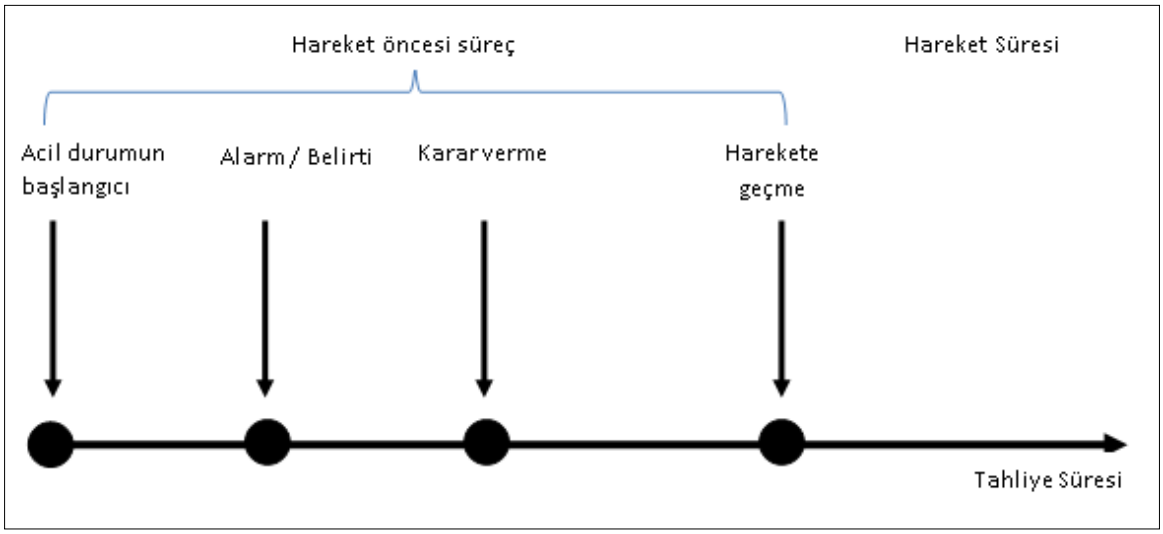
Merdiven açısı (derece)	Yaşlı		Genç	
	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın
38,8	0,41	0,46	0,50	0,47
35,0	0,50	0,53	0,57	0,56
30,5	0,56	0,60	0,65	0,62
24,6	0,68	0,76	0,77	0,75
Yürüme hızı birimi m/s'dir. 50 yaşından büyük kullanıcıların verileri 'yaşlı' bölümünde gösterilmiştir. 50 yaşından küçük kullanıcıların verileri 'genç' bölümünde gösterilmiştir.				

Merdivenlerdeki önemli etkileşimlerden biri de merdivendeki ve merdivene girmeye çalışanlar arasındaki birleşme etkisidir. Birleşme etkisinin farklı türleri mümkündür. Merdivenlerdeki kişiler merdivenlere giren kişileri bekletebilir, katlardaki kişiler merdivende olanları bekletebilir ya da merdivendeki ve kattaki kişiler bekletmeden eşit olarak dağılırlar. Merdivendeki ya da kattaki kişilerin yol vermeyip bekletmesi durumlarında ciddi birikmeler yaşanabilir. Kişiler merdivende birleştikçe, akış yavaşlayabilir veya durgun hale gelebilir (Kuligowski vd., 2014).

2.2.5. Tahliyede insan davranışı

Performansa dayalı yaklaşımla tasarlanan binalarda binanın güvenlik seviyesini ölçebilmek için ASET (mevcut güvenli çıkış süresi) ve RSET'in (gerekli güvenli çıkış süresi) nicel olarak ifade edilebilmesi gerekir (Kuligowski vd., 2017). Bu nicelleştirmeyi yapabilmek için tahliye süresi içerisinde bulunan hareket öncesi süreçte insan davranışının tahmini mümkün olduğunca doğru yapılmalıdır. Davranış, insanların bir durum sırasında algılarına, düşüncelerine ve bu düşüncelere bağlı olarak yaptıkları eylemler olarak tanımlanabilir. İnsanların bir kaçış sırasında gösterdikleri davranışa da tahliye davranışı denir (Kobes vd., 2010). Tahliye sırasında insanlar genellikle alarm anından hemen sonra harekete

geçmezler. Olayı algılamak, karar vermek, eşyalarını toplamak, diğer insanlara yardım etmek, çıkışı aramak gibi farklı ve öngörülemeyen davranışlar gösterebilirler. Bütün bu davranışlar tahliye süresinin gecikmesine neden olabilir (Galea vd., 2017).



Şekil 2.9. Tahliye süresi içinde süreçler (Kuligowski, 2016)

Kalabalık dinamikleri ve kalabalığın davranışsal analizi ile ilgili doğru ve güvenilir bilgiye ulaşma problemi, bina tahliyesinde bugüne kadar karşılaşılan ana problemlerden biridir. Bir binadan ya da alandan yüksek yoğunluklu insan gruplarının tahliyesi izdiham, ezilme ve kaos yaratabilir. Bu yüzden kalabalık davranışını analiz etmek tahliye yönetimine büyük ölçüde yardımcı olur (Alginahi vd., 2019). Yapılan modellerde davranışı temsil etmek amacıyla iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilkinde insanların bir alanda hareket eden bir sıvı gibi davrandığı varsayılarak hesap yapılır. Bu yöntemde ayrıntılı sonuçlar yerine genel performans ölçümü yapılabilmektedir (S. M. V. Gwynne & Rosenbaum, 2016). Bir diğer yöntemde ise tahliye edilen kullanıcılar bireysel özneler olarak hesaba dahil edilir. Tahliyenin yapıldığı yapının fiziksel özellikleri, kullanıcının davranışı ve karar verme sürecini etkileyen faktörler model içerisinde temsil edilebilir (Kuligowski vd., 2017).

İnsan davranışının tahliye durumuna göre değişmesi ve çıkış seçimleri ile ilgili Haghani ve Sarvi yaptıkları çalışmada 150 katılımcı ile 3 gerçek tahliye denemesi ve 3 farklı bilgisayar modeli oluşturmuştur. Yapılan deneylerde gerçek katılımcılar ve modellerin benzer seçimler yaptığı sonucuna varmışlardır (Haghani & Sarvi, 2017).

2.3. Tahliye Modelleri

Tahliye sürelerini hesaplamada sayısal modeller ya da fiziksel tatbikat çalışmaları kullanılabilir. Tatbikatlarda, kullanıcıların eğitimi, tahliye sürecinin anlaşılması ve sorunların öngörülmesi için olumlu veriler elde edilebilir. Fakat her durumda bunun sağlanması mümkün değildir. Bunun sebebi insan ve maddi kaynakların yetersiz olması, insanların gerçek panik durumunda olmaması ve tasarım aşamasına bir faydasının olmamasıdır. Benzetime dayalı sayısal tahliye modellerinin ise tek binalardan komple şehirlere kadar farklı fiziksel ölçeklerde mevcut altyapının ölçümü ve tahliye stratejileri ile ilgili sorunları tahmin etme gibi birçok avantajı vardır (Dang vd., 2021; Tavares, 2009)

Literatürde güvenli tahliye için gereken süreyi, dar boğazları ve binanın performansını hesaplamak için 28 adet tahliye modeli kullanılmaktadır. Bu modeller yöntemlerine, amacına, kullanıcı davranışının modelleme durumuna, yangın koşullarının dahil edilmesine, grup davranışı, karşı akış ve çıkış tıkanıklıkları gibi parametrelere göre sınıflandırılır (Kuligowski, 2010).

Mevcut tahliye modelleri, makroskobik ve mikroskobik modeller olarak ikiye ayrılır. Makroskobik model, tahliye edilenleri bir bütün olarak ele alır. Ancak bireylerin tahliye davranışlarını tanımlamak zordur. İkincisi, kalabalık tahliyesindeki bireyleri araştırma nesnesi olarak kabul eder ve bireylerin tahliye davranışlarını da hesaba katar.(Dang vd., 2021) Mikroskobik modellerden biri özne tabanlı (agent based) benzetim modelidir. Kullanıcıların grup davranışı, birbirleri ile etkileşimleri ve bireysel özellikleri ile yapının tasarımı, tehlikenin türü gibi parametreleri hesaba katarak oluşturulan özne tabanlı benzetim modelleri düşük maliyetle çok sayıda senaryonun test edilmesini sağlar (Wagner, vd. 2014).

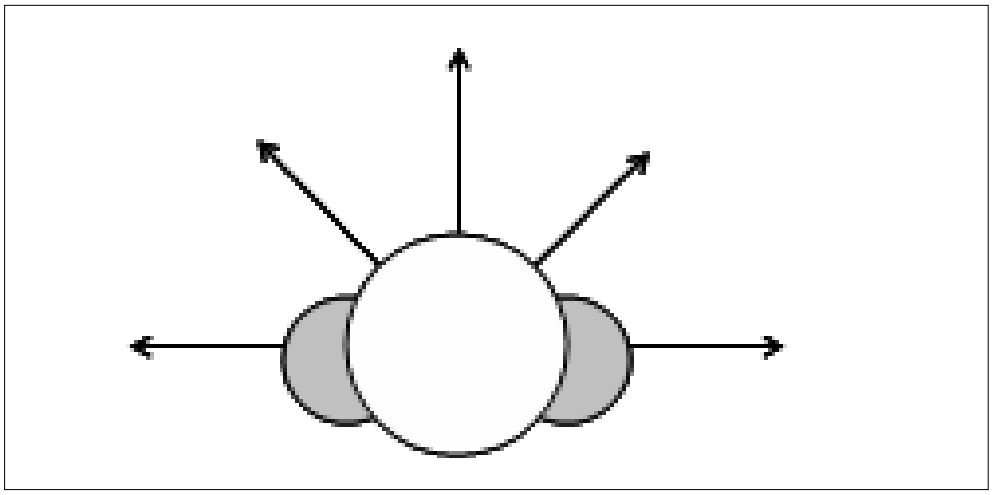
2.3.1. SPFE tabanlı akış modeli

SFPE modeli, SFPE Yangından Korunma Mühendisliği El Kitabı'nda (SFPE 2016) aktarılan akış tabanlı tahliye modelleme teknikleri ile uygulanır. SFPE modelinde, kullanıcılar birbirlerinden kaçınmaya çalışmazlar ve iç içe geçebilirler. Bu modelde kapılar bir akış sınırı uygular ve hız yoğunluk tarafından kontrol edilir. (Thunderhead Engineering, 2021)

SFPE modunda, yoğunluğun bir odanın her yerinde aynı olduğu kabul edilir. Odadaki kişi sayısının odanın alanına bölünmesi ile hesaplanır. Kullanıcıların kapıdan geçiş hızını kontrol eden bir gecikme zamanlayıcısı kullanılır. Bu zamanlayıcı başlangıçta sıfıra ayarlanır. Bir kullanıcı kapıdan geçtiğinde, model, kapının belirli akışına bağlı olarak bir gecikme süresi hesaplar. Bu gecikme süresi kapıya eklenir ve kullanıcıların sırayla geçmesine izin verilir. Hesaplama esas olarak bina boyunca daralma noktalarına odaklanır ve kullanıcıların bu noktaları geçip dışarıya akma süresini hesaplar (Thunderhead Engineering, 2022).

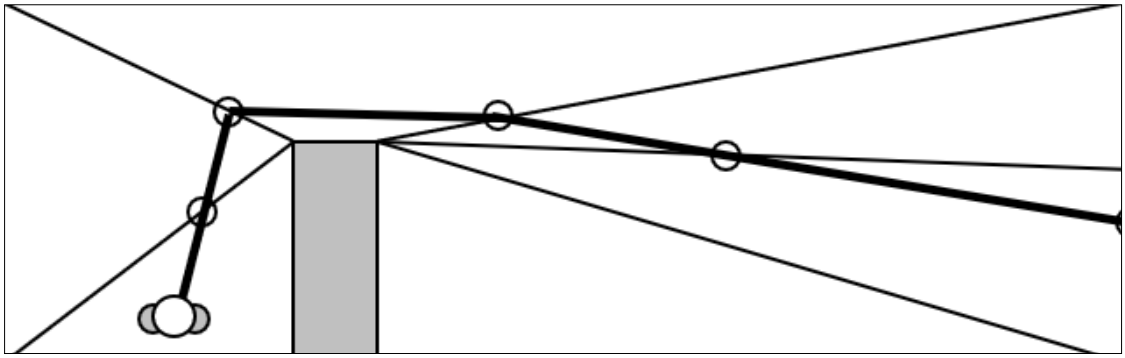
2.3.2. Özne temelli dümen modeli (agent based steering model)

Dümen modelinde, kullanıcılar hareket etmek ve başkalarıyla etkileşim kurmak için bir yönlendirme sistemi kullanır. Bu model, insan davranışını ve hareketini mümkün olduğunca taklit etmeye çalışır. Modelde her kullanıcı, bir varış noktasına sahip olduğunda, varış noktasına nasıl ulaşılacağı, izleyeceği yol ve yol boyunca diğer kullanıcıların durumu gibi dinamik engelleri hesaba katarak takip edeceği rota için bir plan yapar. Kullanıcı, kapı mesafe haritasını aldığında, ideal bir arama yönü belirler. Bunu yapmak için, kullanıcı tam 360°'lik bir alanı kaplayan birbirinden 30° aralıklı örnek yönleri oluşturur. Her örnek yön için, kullanıcı o yöndeki en uzun kapı mesafesini ve o konuma olan uzaklığının mesafe haritasını çıkarır. Sonrasında kullanıcı, bu yönde diğer kullanıcılarla çarpışıp çarpışmayacağını ve çarpışmanın ne kadar uzakta olduğunu kontrol eder. (Thunderhead Engineering, 2022)



Şekil 2.10. Dümen modelinde örnek kullanıcı yönleri (Thunderhead Engineering, 2022)

Kullanıcı daha sonra bu yönde katedilebilecek mesafeyi, kullanıcının çarpışması için en kısa mesafe ve en uzun kapı mesafesi ile sınırlar. Kullanıcı, kapı mesafe haritasına göre bir kapıya en uzak mesafedeki örnek yönü seçer. Dümen modeli, kullanıcının oluşturduğu rotayı kullanabilmesi için yönlendirme mekanizmaları ve çarpışma kontrolü gibi özellikler kullanır. (Thunderhead Engineering, 2022)



Şekil 2.11. Ara noktalarının gösterildiği planlanmış yol (Thunderhead Engineering, 2021)

2.4. Tarihi Yapılarda Tahliye Çalışmaları

Kültürel miras değeri olan tarihi yapılar her gün çok sayıda turistin ziyaret etmesinin yanında tiyatro, konser gibi kültürel faaliyetlerde de kullanılmaktadır. Bu tür yapılarda yangın, patlama, saldırı gibi acil durumların hızlı ve güvenli tahliye edilmesi hem kültürel mimari mirasın korunması bağlamında hem de tahliye edilen insanların güvenliği bağlamında dikkat edilmesi gereken bir konudur (Cao vd., 2021). Acil durumlar dışında, normal tahliye durumlarında tarihi binaların fiziksel koşulları günümüzde kullanılan standartlara uygun olmayabilir. Bu nedenle modern binalarda yapılan tahliye çalışmaları ile oluşturulan yönetmeliklerin, kodların tarihi binalarda uygulanması tarihi yapıya zarar verebilir. (Watts & Solomon, 2002). Tarihi binalarda tahliye için modern yönetmeliklerin gereklilikleri uygulandığında, yapının tarihi değerini korumak için müdahaleleri mümkün olduğunca en aza indirmek binanın yararınadır (Gales vd., 2022).

Tarihi yapılar insan davranışı, yürüme hızı gibi tahliyeyi etkileyen faktörler bağlamında da modern binalara göre güvenli tahliyenin gerçekleşmesini zorlaştırabilir. Örneğin çıkış yolları modern binalardan farklı olabilir ve çıkışlar kolayca bulunamayabilir (Carattin & Brannigan, 2012). Bu yapılarda insanlar genellikle turistik ziyaret ya da kültürel faaliyet

sebebi ile bulunduğundan yapıya daha önceden aşina değildirler. Bu nedenle tahliye sırasında çıkışları bulmakta zorlanabilirler. (Bernardini vd., 2016)

Mevcut tahliye yaklaşımlarında, acil durumlarda insanların güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesi için genel öneriler şunlardır.

• Çıkış süresini azaltmak için çıkış sayısını ve genişliğini arttırmak
• Çıkışa ulaşma mesafelerini azaltmak
• Yangın merdivenleri yapmak
• Acil durumlara dayanıklı duvarlar ile acil durum etkilerini sınırlandırmak

Bu öneriler tarihi yapılarda yapının orijinal özelliklerini bozabilecek etkiler oluşturacağından mimari mirasın korunması açısından yeterli değildir. Dolayısıyla tarihi yapılarda, yapıya en az müdahale ile güvenli tahliye problemi çözülmelidir (Bernardini vd., 2016). Bu yapılarda tahliye performansını, yönetmeliklerinin gerekliliklerinin ötesinde değerlendirmek ve geliştirmek için, tarihi yapıların benzersiz özelliklerinin tahliye süresi üzerindeki etkilerinin anlaşılması gerekir (Gales vd., 2022).

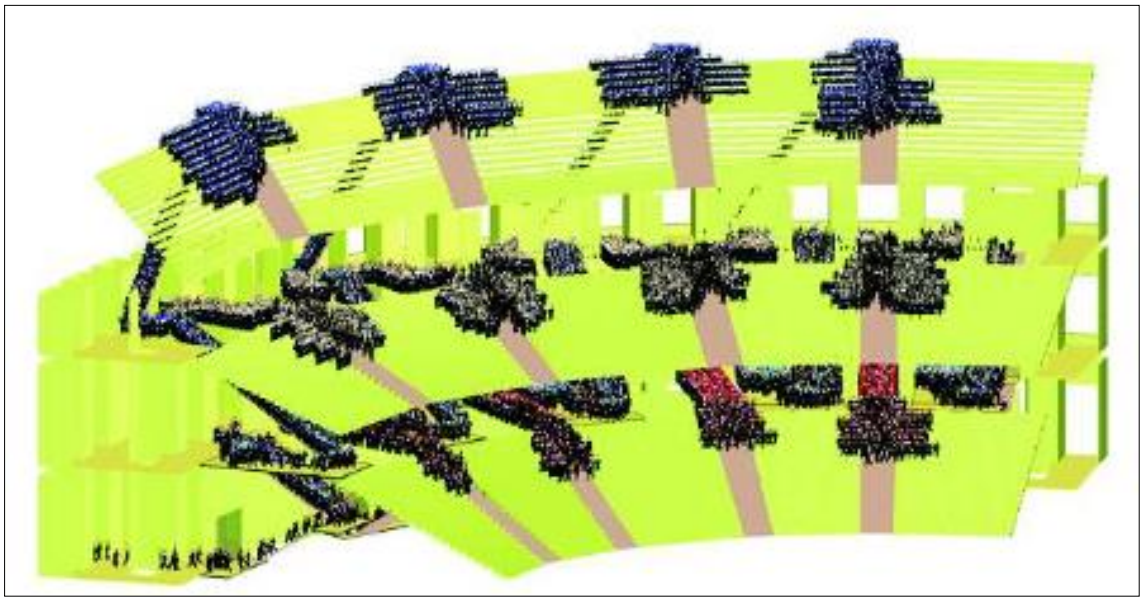
2.4.1. Yapılmış Benzer Tahliye Çalışmaları

Bu bölümde yazın taraması sırasında incelenmiş benzer tahliye çalışmaları açıklanmıştır. Çalışılan yapı türü, kullanım amacı ve kullanıcı sayısı gibi faktörlerle konu ile ortak nokta olabilecek çalışmalar seçilerek incelenmiştir. Antik tiyatrolar ile ilgili bir tahliye çalışmasına rastlanmamıştır. Konu ile en benzer çalışma bir amfi tiyatro olan Roma Kolezyumunun tahliyesini inceleyen bir makaledir. Bu makale hakemsiz bir dergide yayınlanmıştır. Ayrıca eş zamanlı kullanıcı yoğunluğu ve seyirci koltuğu gibi benzerliklerden dolayı stadyum ve tarihi tiyatrolarda yapılmış olan tahliye çalışmaları aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

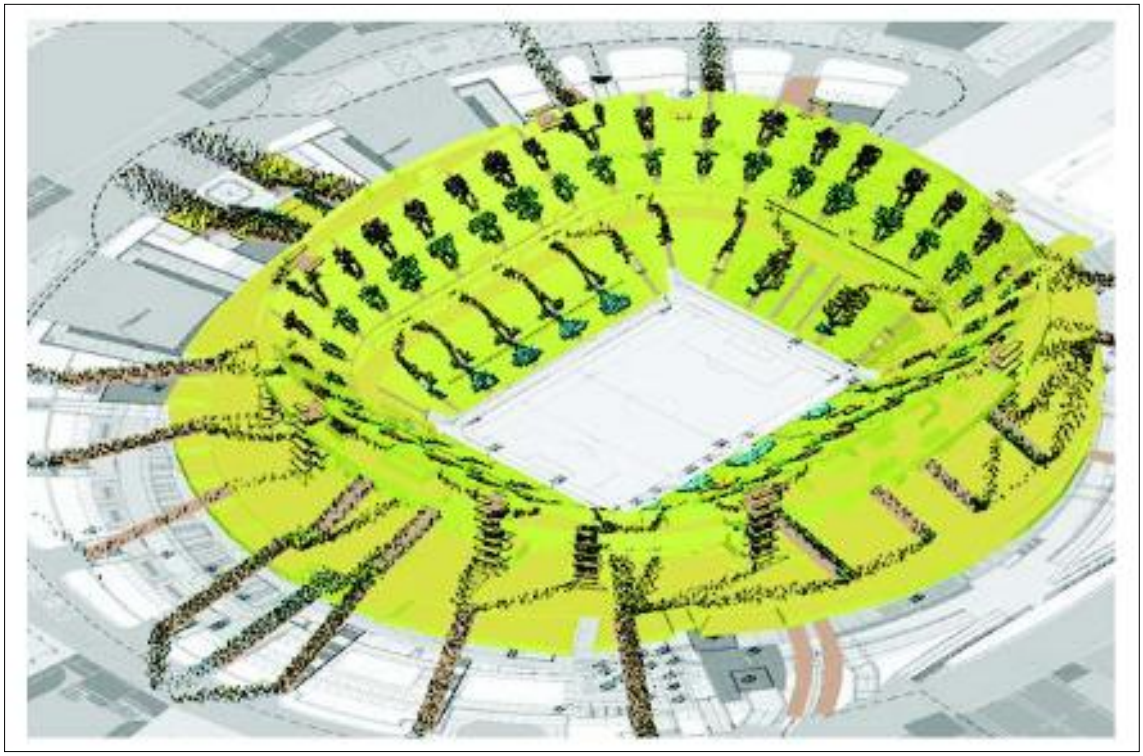
<u>Colessium tahliye çalışması</u>

Gravit vd. (2020), yaptıkları makalede Roma Kolezyumu (İtalya) ve modern Gazprom Arena stadyumu (St. Petersburg, Rusya) olan farklı dönemlere ait iki büyük arenanın tahliye sonuçlarını tartışmışlardır. İki yapının 3 boyutlu bilgisayar modelleri oluşturulmuş ve insanların tahliye benzetim modeli Sigma FS yazılımında yapılmıştır. Yapıların

tasarımları, kalabalık tahliyesinin organizasyonu açısından incelenmiş, karşılaştırmalı bir analiz yapılmış ve tahliye süresini etkileyen özellikler belirlenmiştir. Tahliye benzetimi için, SIGMA FS yazılımı kullanılarak bireysel bir akış modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.12. Kolezyum tahliye modeli (Gravit vd., 2020)



Şekil 2.13. Gazprom Arena tahliye modeli (Gravit vd., 2020)

Çizelge 2.8. Çalışmada tahliye modellerinde kullanılan merdivenlerinin özellikleri ve model sonucundaki akış değerleri (Gravit vd., 2020)

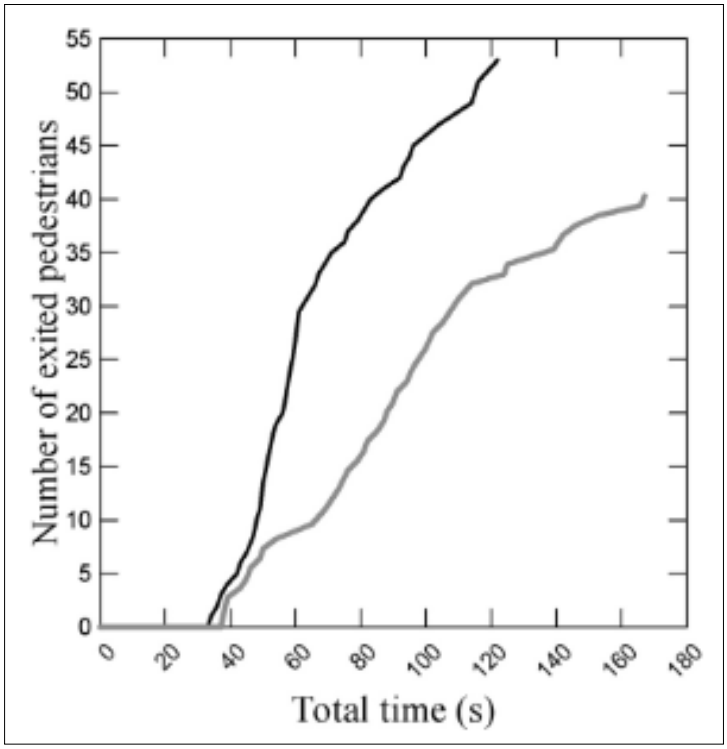
	Merdivenler	Genişlik, m	Akış hızı, kişi/s	Akış yoğunluğu kişi/s/m	180° dönüş sayısı	Yükseklik farkı, m	Uzunluk, m	Eğim, derece
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Gazprom Arena, STW1	2,6	1,7	0,65	8	18,3	63	30
2	Gazprom Arena, STW2	4	3,3	0,8	8	18,3	63	30
3	Kolezyum	2,8	3,2	1,14	3	22	63	30

İki modelde de bir kişinin ortalama yürüme hızı 1,66 m/s, yatay izdüşüm alanı 0,1 m² olarak alınmıştır. Cinsiyet, yaş, sağlık durumu ve diğer göstergelerdeki farklılıklar göz ardı edilmiştir.

Çizelge 2.8'de iki arenanın tahliye modelinde kullanılan merdivenlerinin özellikleri ve model sonucundaki akış değerleri verilmiştir. Kolezyum merdivenlerindeki akış en yüksek değerde çıkmıştır. Çalışmada, Kolezyum merdivenlerinin 180° dönüş sayısının az olması akış değerinin yüksek çıkmasına neden olarak verilmiştir. Çalışmada bina tahliyesini etkileyen temel faktörlerden birinin merdivenlerin geometrik özellikleri olduğu sonucuna varılmıştır. Bu makale hakemli dergide yayınlanmış bir yayın değil ön baskıdır. Ayrıca yapılan modellerde iki yapının da tahliye süresi hesabına yer verilmemiştir.

Tiyatro Tahliyesi (Kapalı Tiyatro) Çalışması

D'Orazio vd. (2016), çalışmalarında tarihi miras değeri olan İtalyan tarzı ahşap tiyatro yapılarında yangın riskinin yüksek olmasından dolayı tahliye iyileştirme önerilerinde bulunmuşlardır. Çalışma için seçilen yapı Cleomene Luigi Petrini ve Domenico Rossi tarafından tasarlanan ve 1884 arasında inşa edilen "Gentile da Fabriano" tiyatrosudur. Örnek yapıda mimari müdahale yapılmadan, tahliye yolları boyunca yerleştirilen işaretler ve karolar ile CWS ve PWS olarak isimlendirilen iki adet sürekli yön bulma sistemi oluşturulmuştur. Yön bulma sistemleri ile tatbikat yapılarak 100 kişilik bir grubun tahliye süresi ve yürüme hızları ölçülmüştür. Yapılan tatbikatta CWS olarak adlandırılan yön bulma sistemi sayesinde yürüme hızının %50 arttığını, toplam tahliye süresinin ise %25 azaldığını belirtmişlerdir (D'Orazio vd., 2016).



Şekil 2.14. PWS (gri çizgi) ve CWS (siyah çizgi) için tahliye süresine ve yapıdan çıkan kullanıcı sayısı (D'Orazio vd., 2016)

İncelenen ikinci kapalı tiyatro tahliyesi çalışmasında Galea vd. (2017), bir tiyatro salonunda bulunan 1200 kişinin tahliye tatbikatının sonuçlarını açıklamışlardır. Tatbikat, İngiltere'de Kent şehrinde bulunan Marlowe Tiyatrosu'nda yapılan bir tiyatro gösterisi sırasında yapılmıştır. Çalışmada özellikle hareket öncesindeki tepki süresi ölçülerek tahliye süresine etkisi araştırılmıştır. Tepki süresinin, koltuk aralarındaki çıkış koridorlarının mesafesine ve koltuk sırasının bir çıkışa olan mesafesine göre arttığı bulunmuştur (Galea vd., 2017).



Şekil 2.15. Tahliye başlamadan önce ve tahliyenin başlamasından 1 dakika sonra salonun görünümü

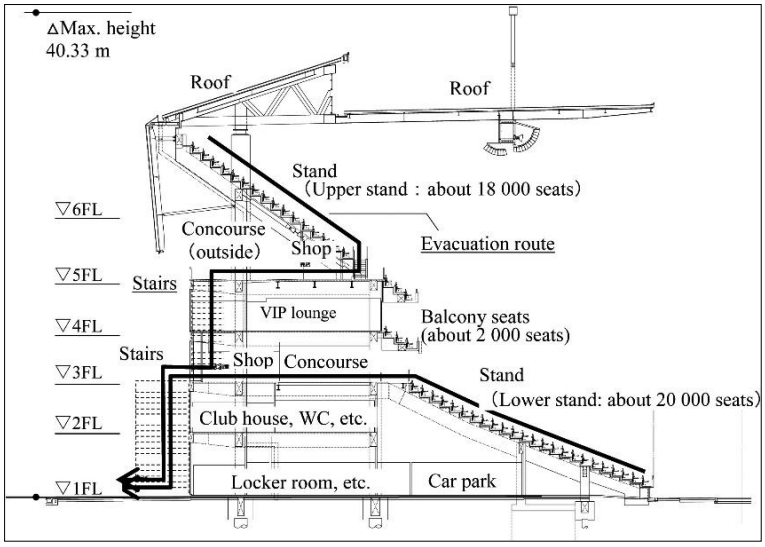
Stadyum Tahliyesi Çalışması

Minegishi ve Takeichi, 2018 yılında yayınladıkları makalede Japonya'da yapılan olimpiyat oyunları nedeniyle büyük spor salonlarının çok sayıda insan tarafından eş zamanlı kullanılacağını öngörerek bir stadyumda tahliye çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada seyirci koltuğu, kalabalıktan oluşan darboğazlar, merdivenlerde birleşme etkisi gibi konuların tahliye üzerindeki sonuçları incelenmiş ve öneriler getirilmiştir.

Bilgisayar ortamında oluşturulan benzetim modeli ile yapılan tahliye çalışmasında SimTread isimli özne temelli benzetim modeli yazılımı kullanılmıştır. Benzetimi yapılan yapı ise tamamı çatı ile örtülü, 40 000 koltuklu, uluslararası maçlar için kullanılabilecek S sınıfı bir futbol stadyumudur. Stadyum ile ilgili genel bilgiler Çizelge 2.9'da verilmiştir.

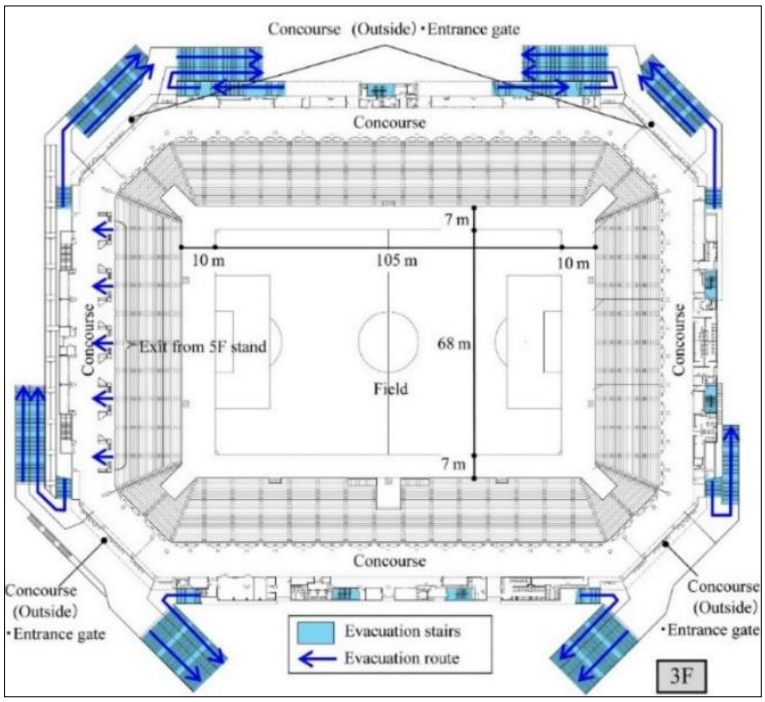
Çizelge 2.9. Çalışmada tahliyesi yapılan stadyumun genel bilgileri (Minegishi & Takeichi, 2018)

Stadyum adı	Suita Şehir Futbol Stadyumu
Müşteri	Stadyum inşaatı için bağış toplama organizasyonu (inşaat tamamlandıktan sonra Suita City'ye verildi)
Kullanım	Stadyum
Yapı alanı	90 065,33 m^2
Toplam taban alanı	63 908,71 m^2
Kat numarası	Yerden 6 kat
Yükseklik	40,33 m
Ana yapı	RC, kısmen çelik

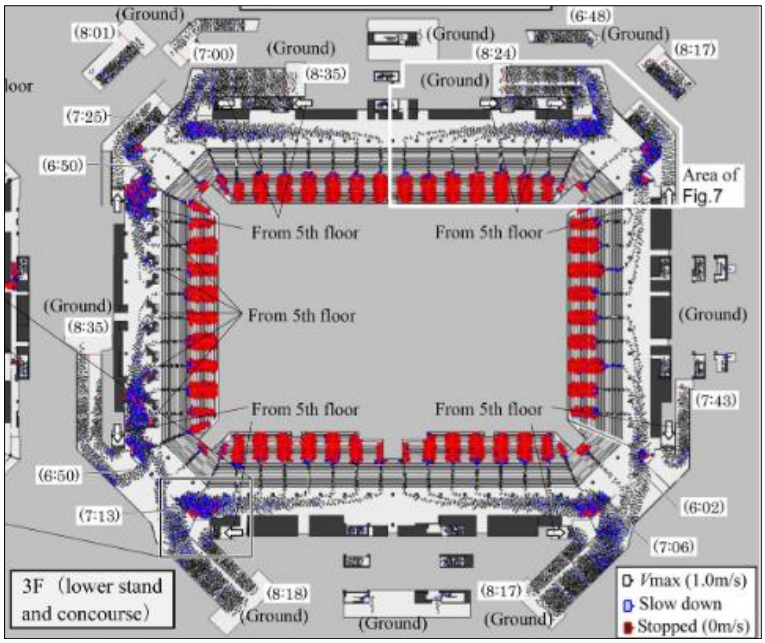


Şekil 2.16. Yapının kesiti üzerinde gösterilen tahliye yolu (Minegishi & Takeichi, 2018)

Tahliye sırasında en çok birikimin olduğu ve tahliye süresini uzatan alanların seyirci koltukları arasındaki merdivenler olduğu görülmüştür. Seyirci koltuklarının tahliye edilirken insanların kuyruk oluşturmaması için önlemler alınması gerektiği söylenmiştir. Ayrıca yangın gibi acil bir durumda oluşan zehirli gaz ve duman yükseldiği için üst seviyelerdeki seyirciler daha tehlikeli bir durumda olacağından tahliyeye önce üst katlardan başlanması önerilmiştir (Minegishi & Takeichi, 2018).



Şekil 2.17. Tahliye yolları ve çıkışların gösterildiği 3F kat planı (Minegishi & Takeichi, 2018)



Şekil 2.18. Tahliye sırasında merdiven ve birleşme alanlarında oluşan tıkanıklıkların gösterildiği 3F kat planı (Minegishi & Takeichi, 2018)

3. YÖNTEM

Bu çalışmada Roma Dönemi antik tiyatrosu olan ve Türkiye'de bulunan Aspendos Tiyatrosu'nun konser sonrası normal tahliyesinin gözlemsel tahliye ölçümünün sonuçları ve Pathfinder programı ile yapılan normal tahliye benzetimi sonuçları aktarılmıştır. Seçilen yapının özellikleri, modelleme için gerekli olan verilerin elde edilme adımları, tahliye senaryoları ve yapılan normal tahliye gözlemi bu bölümdeki başlıklar altında incelenmiştir.

3.1. Aspendos Tiyatrosu Mimari Özellikleri

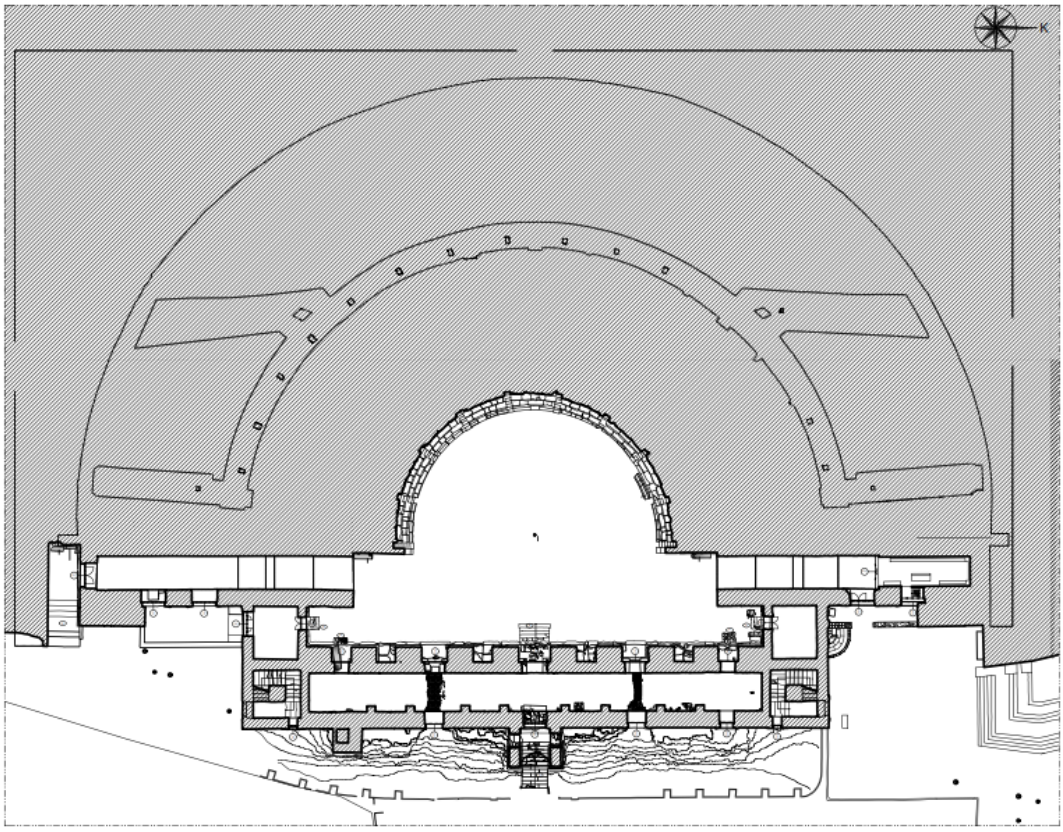


Resim 3.1. Tiyatronun genel görünümü

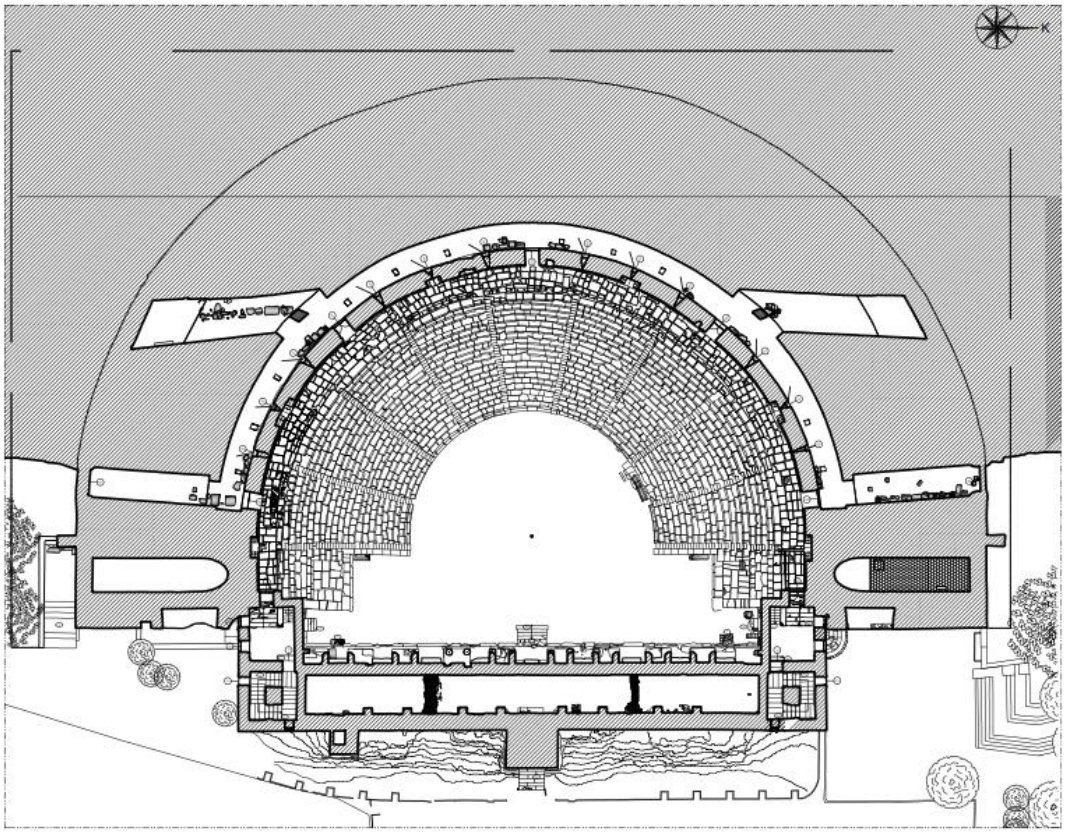
Çizelge 3.1'de genel bilgileri verilen Aspendos Antik Tiyatrosu, yarım daire şeklinde oturma yerleri ve üç katlı sahne binası ile kapalı hacimli bir Roma tiyatrosudur. Tek hacimli tiyatro 3 ana kota ayrılmaktadır. ±0.00 kotunda orkestra, +8.60 kotunda *diazoma*, +19.40 kotunda ise üst galeri bölümleri bulunur. Bu bölümlerin araları ise *cavea* olarak adlandırılan oturma yerlerine ayrılmıştır. Şekil 3.2, şekil 3.3, şekil 3.4, şekil 3.5 ve şekil 3.6'da tiyatronun planları ve kesitleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aspendos Antik Tiyatrosu genel bilgiler

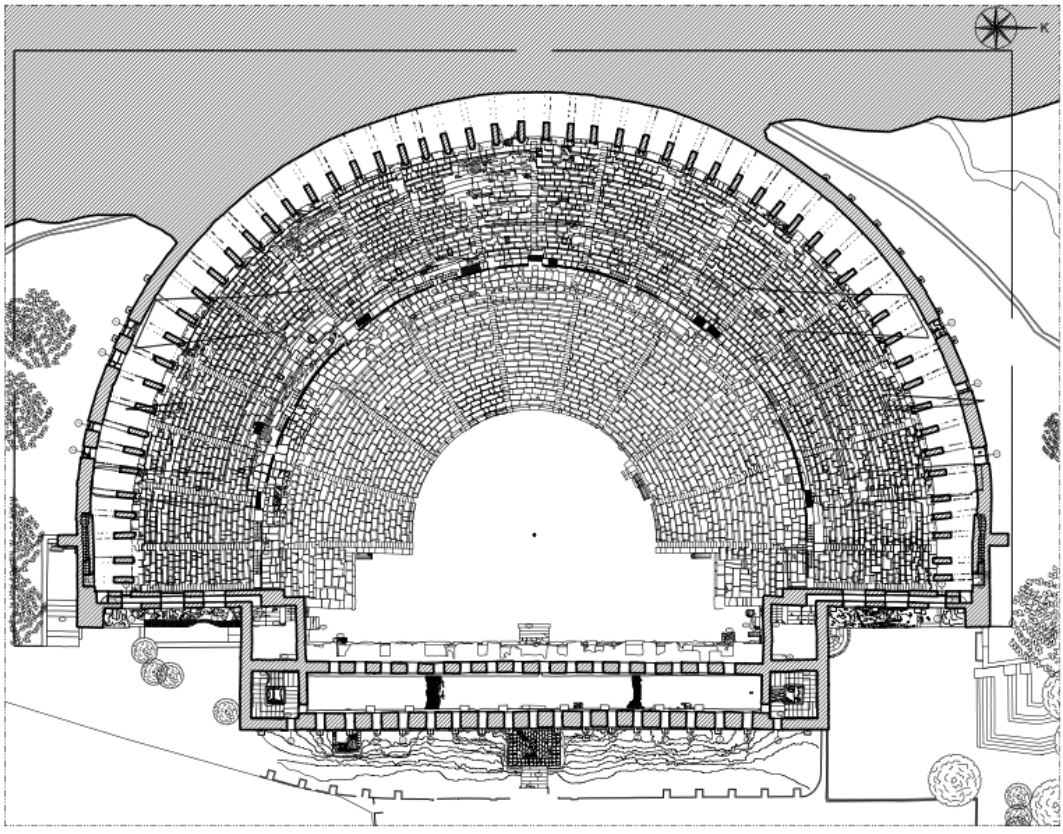
Adı	Aspendos Antik Tiyatrosu
Mimarı	Xenon
Yapıldığı Dönem	Marcus Aurelius Dönemi
Yapım Tarihi	MS 161-180
Yeri	Serik, Antalya
Alanı	5279,66 m²
Seyirci Kapasitesi	5882 kişi
Yükseklik	25,55 m
Yapım Tekniği ve Malzemesi	Yığma Taş



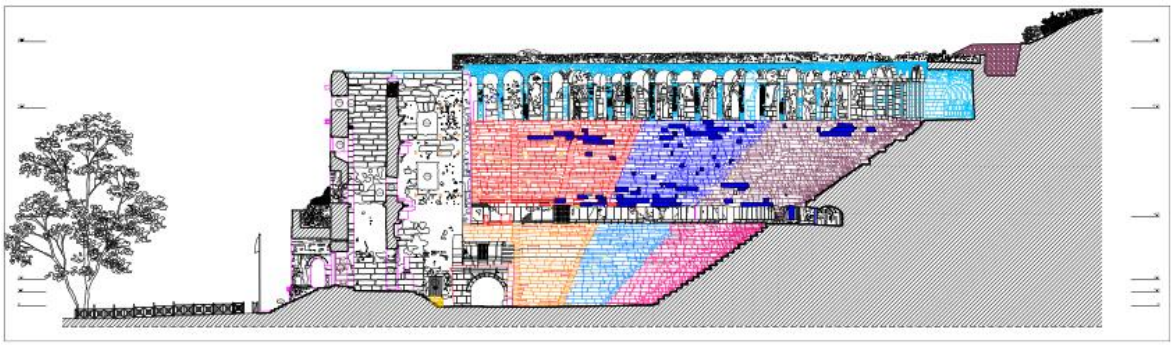
Şekil 3.1. Aspendos Antik Tiyatrosu 0.00 kotu planı



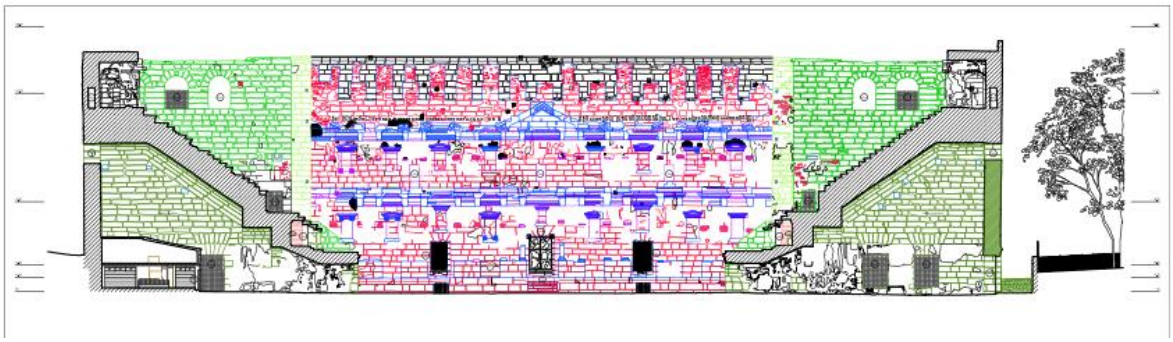
Şekil 3.2. Aspendos Antik Tiyatrosu +8.60 kotu planı



Şekil 3.3. Aspendos Antik Tiyatrosu +19.40 kotu planı



Şekil 3.4. Aspendos Antik Tiyatrosu doğu batı yönünden kesiti



Şekil 3.5. Aspendos Antik Tiyatrosu kuzey güney yönünden kesiti

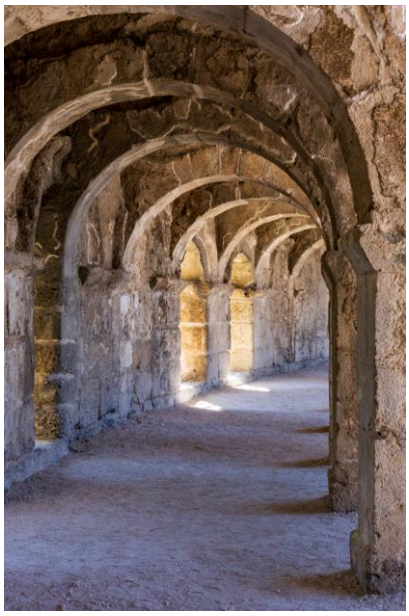
Yarısı bulunduğu yamaca yaslanmış tiyatronun üst oturma yeri bölümü tonozlu geçitler ile desteklenmiştir. Dört kola ayrılan geçitlerin üç tanesinin çıkışları toprak altındadır. Bir tanesinde ise kapı bulunmaktadır. Günümüzde kullanılmayan kapının yapının içinden görünümü resim 3.2'de, yapının dışından kapının açıldığı yerin görünümü ise resim 3.3'te gösterilmiştir.





Resim 3.2. a) Geçit kapısı içten görünüm b) Geçit kapısı dıştan görünüm

Sahne binası yapının doğu cephesini kaplayan dikdörtgen biçimli üç katlı bir yapıdır. Kuzey ve güney cephelerinde bulunan merdiven kuleleri ile oturma yeri bölümüne bağlanır. Yapının üst örtüsü ve ara döşemeleri günümüze ulaşmamıştır. Tiyatronun oturma yeri bölümünde bir üst örtü yoktur. Üst oturma yeri bitiminde sahne binası ile aynı yükseklikte olacak şekilde tonozlu bir üst galeri bulunmaktadır. Bu galeriden çekilen fotoğraflar aşağıda verilmiştir.

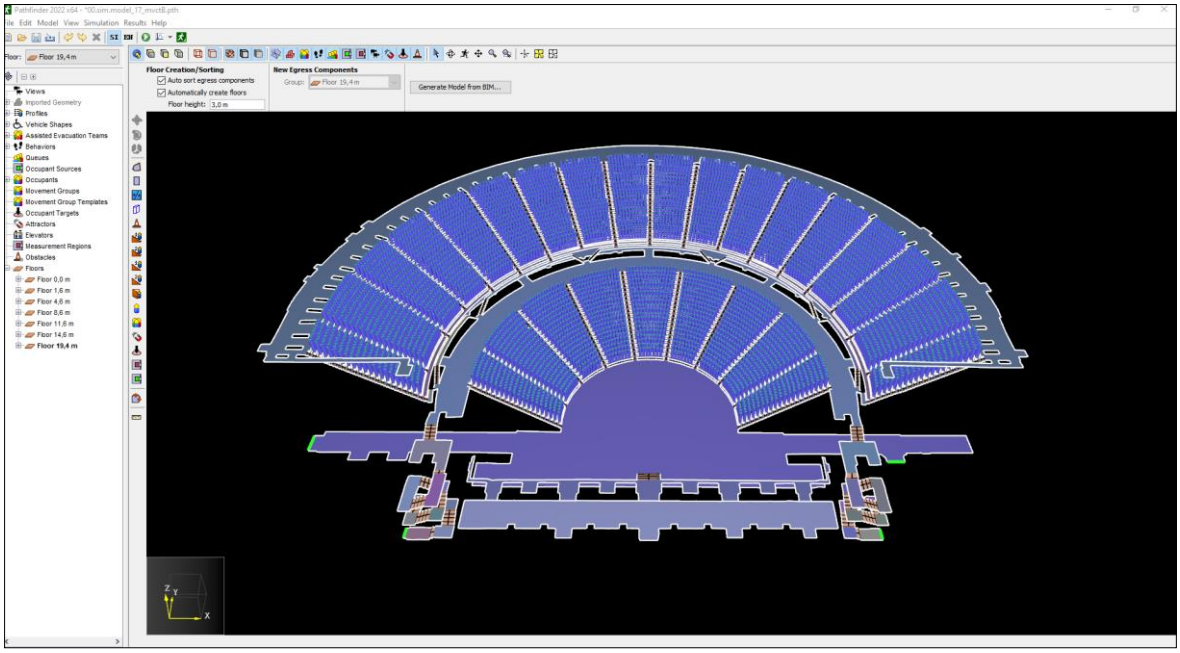




Resim 3.3. a) Tonozlu üst galeri b) Üst galeriye açılan merdiven kapısı

3.2. Pathfinder Benzetim Programı

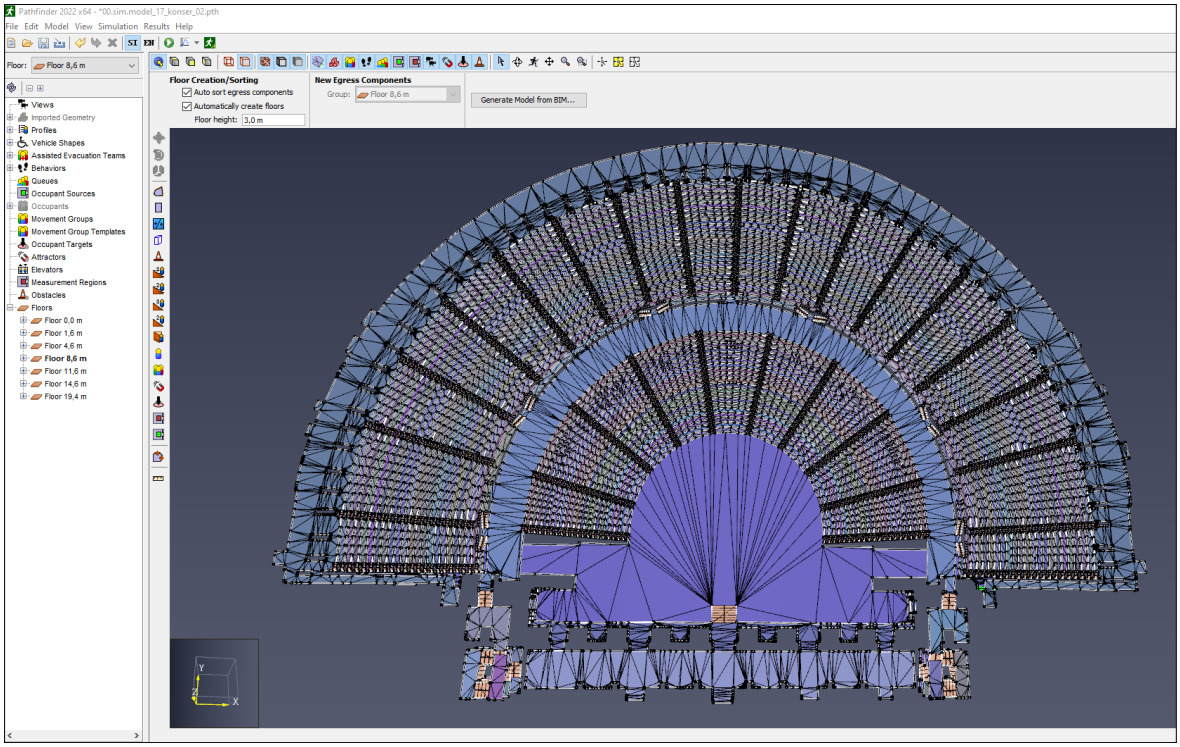
Çalışmada Thunderhead Mühendislik Firması tarafından yapılmış olan Pathfinder benzetim programı ile özne tabanlı tahliye benzetim modeli oluşturulmuştur. Pathfinder özne tabanlı bir tahliye ve insan hareketi benzetim programıdır. 2D ve 3D görselleştirme araçları ile benzetim oluşturulabilmektedir. Programda SFPE ve Steering olarak iki mod desteklenmektedir. Steering mod insan davranışını mümkün olduğunca taklit etmeye çalışır. Bu modda kullanıcılara bireysel davranışlar atanabilmektedir. SPFE modunda insan davranışı varsayımlara dayandırılır. Kullanıcılar birbirinden kaçınmazlar ve iç içe geçebilirler. Bu modda yoğunluk ve akış birbiri ile bağlantılı olarak çalışır. Yoğunluğa göre akış hızı sınırlandırılır (Thunderhead Engineering, t.y.). SFPE modunda kullanıcıların çakışmaları engellenemediğinden modelde Steering modunda çalışılmıştır. Pathfinder programının seçilme sebebi ulaşılabilir olması ve çok sayıda formatı (DWG, DXF, JPG, PNG gibi) içe aktarma seçeneği sunmasıdır.



Şekil 3.6. Pathfinder kullanıcı arayüzü

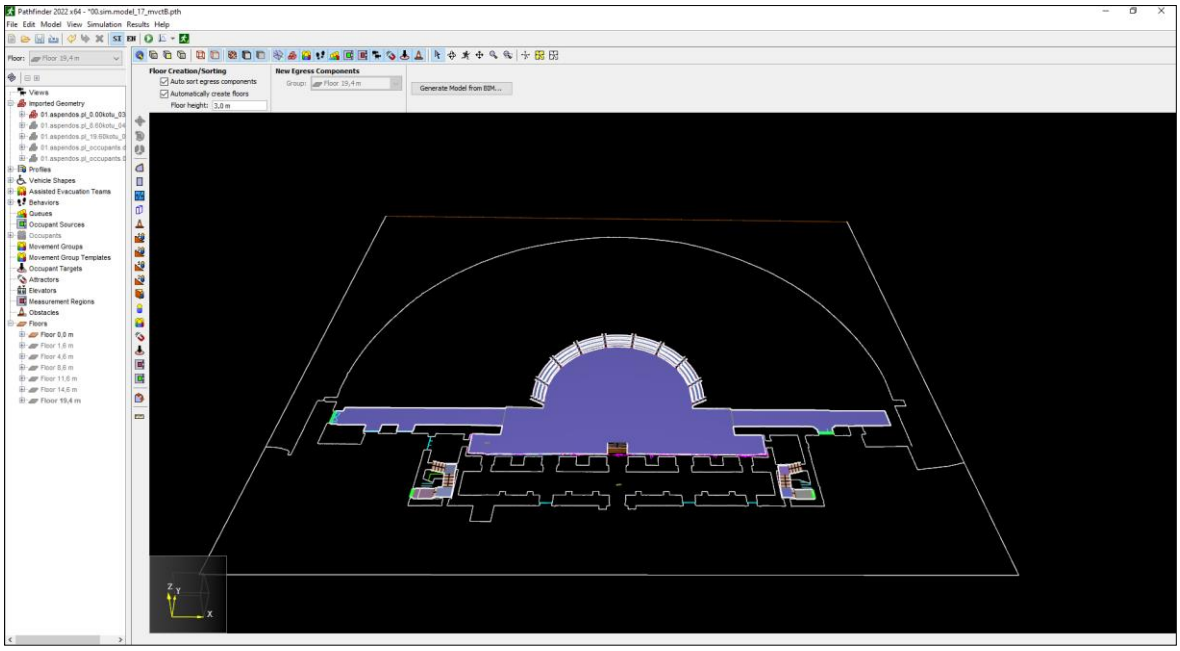
Pathfinder benzetim programında kullanıcıların hareket ettikleri yüzeyler üçgen yüzeyler ile oluşturulmaktadır. Duvarlar, taşıyıcılar ve diğer geçilemeyen alanlar boşluk olarak bırakılır, benzetim modeline dahil edilmez. Bu boşluklar hareket edilemeyen alanlar olarak dolaylı yoldan temsil edilir. Hareket alanları dışında programda kapılar ve merdivenler özel gezinme alanları olarak modellenir. Bu alanlar ayrı ayrı işlenir. Şekil 3.7'de programda oluşturulan modelin hareket alanlarının üçgen ağlar ile temsili görülmektedir (Thunderhead Engineering, 2021).

Kullanıcılar, konum, boyut, hız gibi fiziksel profilleri ile birlikte hedeflerini tanımlayan davranışlar ile birlikte modellenir. Kullanıcılara bir komut dosyası atanarak davranışları belirlenebilir. Pathfinder mikroskobik bir model programı olduğundan her kullanıcının hareketi bağımsız olarak hesaplanır (Thunderhead Engineering, 2021). Programda kullanıcıların fiziksel özellikleri varsayılan değerlerde alınabildiği gibi hız ve boyut gibi değerler değiştirilerek ölçümler yapılabilmektedir. Düz hareket alanında yürüme hızına istenilen değer verilebilirken merdivendeki hareket hızı değiştirilememektedir. Pathfinder programında merdivenlerdeki kullanıcı hareket hızı, merdivenin eğimine bağlı olarak, belirli bir hıza düşürülür.



Şekil 3.7. Pathfinder'da oluşturulan modelin hareket alanlarının üçgen ağlar ile temsili

Yapının planları rölöve çizimlerini yapan firmadan CAD formatında alındıktan sonra sadeleştirilerek belirlenen kotlara göre ayrılmıştır. Kotların DWG dosyaları ayrı ayrı Pathfinder'a aktarılmıştır. Bu kat planları üzerinden yapının 3D modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. DWG üzerinden yapılan modelleme

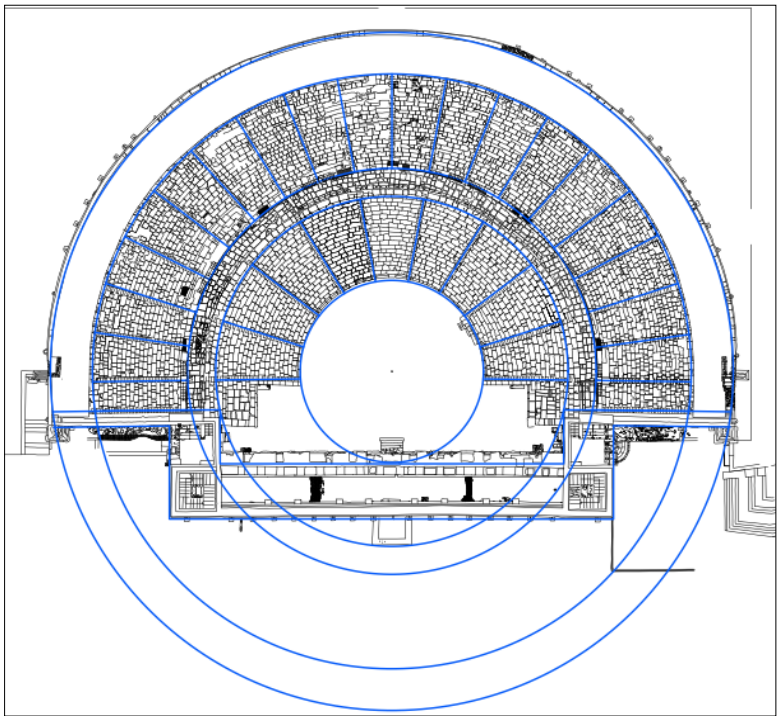
3.3. Yapının Modelleme Süreci

Model oluşturulurken tiyatronun geçirdiği son restorasyon projesi için hazırlanan rölöve çizimleri kullanılmıştır. Yapının mevcut durumunda taşların aşınmasından dolayı bölümlerde sabit bir kot bulunmadığından her bölümün kotu rölöve çizimindeki kotların ortalaması alınarak elde edilmiştir. Aşağıdaki çizelge 3.2'de tiyatronun temel bölümlerinin model oluşturulurken kabul edilen kotları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tiyatro bölümlerinin kotları

Bölüm	Kot
Orkestra	±0,00
Diazoma	+8,60
Üst oturma yerine çıkan yan merdivenler	+10,60
Üst galeri	+19,40
Sahne	+1,60

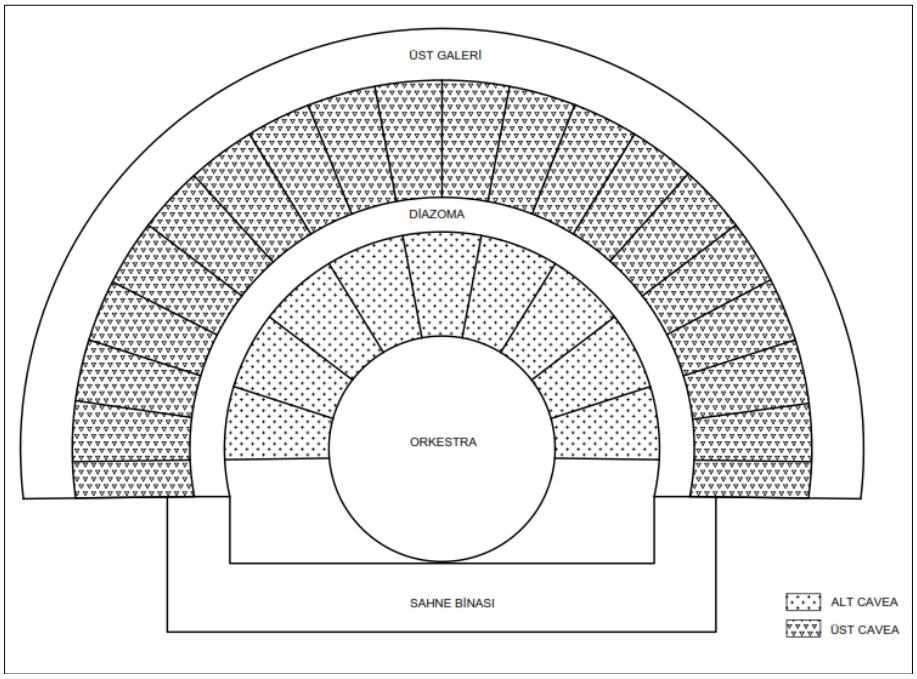
Planlar model oluşturabilmek için sadeleştirilmiştir. İlk aşama olarak plan düzleminde orkestra, oturma yeri, *diazoma* ve üst galeri ayrımlarını yapmak amacıyla eş merkezli daireler çizilmiştir. Bu dairelerin merkezinden 22° açı ile gönderilen ışınlar merdiven akslarını oluşturmuştur.



Şekil 3.9. Aspendos Antik Tiyatrosu ışınsal merdiven ve oturma yeri bölümleri

Oturma yerleri yazın taramasında belirtildiği gibi alt oturma yeri ve üst oturma yeri olmak üzere iki kısımdan oluşur. Alt oturma yerinde 40 basamaklı, 10 sıra ışınsal merdiven bulunmaktadır ve ±0,00 kotundaki orkestradan +8,60 kotundaki *diazoma*'ya ulaşımı sağlar. Model oluşturulurken bu merdivenlerin rıht yüksekliği 20 cm, basamak genişliği 30 cm olarak kabul edilmiştir. Alt oturma yerinde bulunan oturma sıraları 60 cm genişliğinde 40 cm yüksekliğindedir. *Diazoma*'dan üst oturma yerine 12 adet 7 basamaklı yan merdivenler ile ulaşılır. Üst oturma yerinde ise 42 basamaklı, 19 sıra ışınsal merdiven bulunmaktadır.

Sahne binası, yarım daire şeklindeki oturma yerini dik kesen dikdörtgen planlı bir yapıdır. İki yanında bulunan merdivenler ile oturma yerleri arasındaki *diazoma*'ya ulaşılmaktadır. Yapı üç katlı olmasına rağmen ara döşemeler ve üst galeriye çıkan merdivenler günümüze ulaşamamıştır.



Şekil 3.10. Alt oturma yeri ve üst oturma yeri gösterimi

3.3.1. Çıkış kapıları

Yapının orijinalinde olan çıkış kapıları:

Tiyatronun orijinal tasarımında farklı kotlardan yapının dışına açılan 15 adet kapı bulunmaktadır. Kapıların 9 tanesi ±0,00 kotunda bulunmaktadır. Kuzey tonozlu koridorda

2 kapı, güney tonozlu koridorda ise 1 kapı bulunmaktadır. Kalan kapılar ise sahne binasında bulunmaktadır. 4 tanesi sahne binasından yapının doğu cephesine açılır. Kalan 2 kapı ise sahne binasının iki yanındaki merdiven kapılarıdır.

Diazoma'dan ulaşılan +8,60 kotundaki geçitlerin her birinin ucunda ise 4 adet kapı bulunmaktadır. Bu kapıların 3 tanesi toprak altında kaldığından kapatılmıştır. Diğer açık olan kapı ise dışarıdan ve içeriden görülebilmekte fakat kapalı tutulmaktadır.

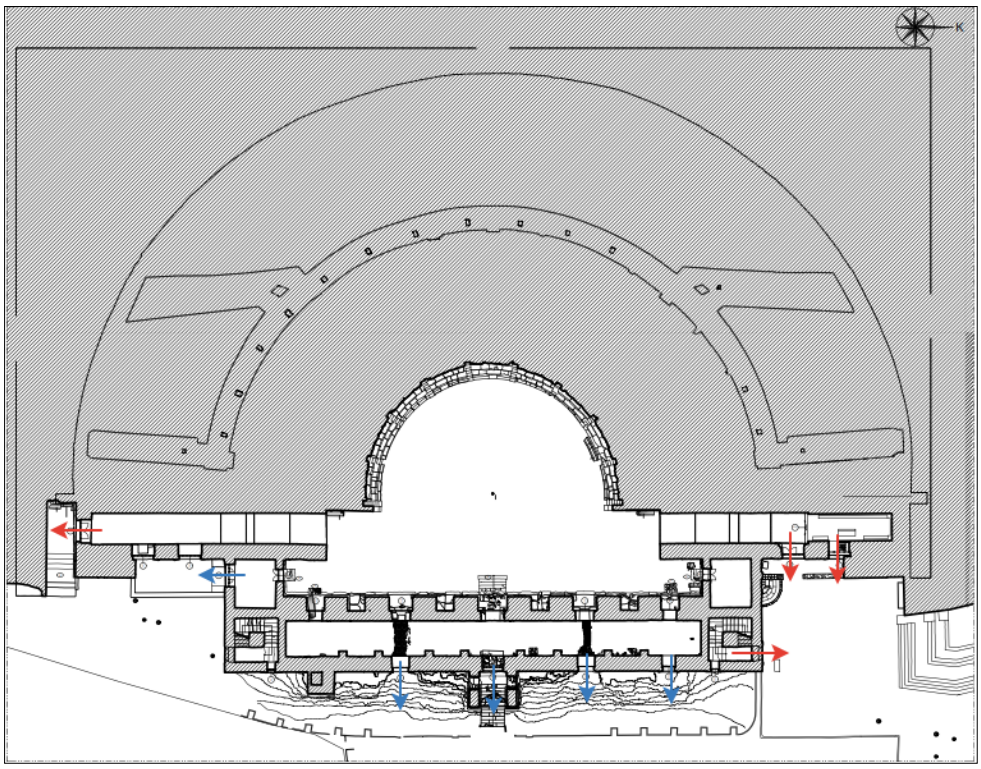
+19,40 kotundaki tonozlu üst galerinin iki ucunda yapının çatısına ulaşan 2 adet kapı bulunmaktadır. Bu kapılar kullanımda değildir. Bu 15 kapıdan günümüzde kullanımda olan 4 adet kapı bulunmaktadır. Diğer kapılar güvenlik ve yapının arka cephesinin toprak ile kapanmış olması gibi sebeplerden kullanılamamaktadır.

Mevcut durumda kullanılabilen çıkış kapıları:

Mevcut durumda yapıdan çıkışlar sadece ±0,00 kotundan sağlanmaktadır. Çıkış için kullanılan 4 adet kapı bulunmaktadır. Bunlardan biri güneyde bulunan tonoz koridorun sonundaki kapıdır. Diğerleri kuzeydeki tonozlu koridorun açıldığı kapı, merdiven kapısı ve satış ofisi kapısıdır. Mevcut durumda sahne binasında sahne arkasına ulaşılabilen 5 adet kapı ve yapıdan çıkışı sağlayan 2 adet kapı bulunmaktadır. Bu kapılar kapalı olduğundan çıkış için kullanılmamaktadır. Üst kotlardan çıkış sahne binasının iki yanındaki merdivenler ile sağlanmaktadır. Bu merdivenler ile +8,60 kotunda oturma yerleri arasındaki *diazoma*'da bulunan kapılardan çıkış sağlanabilmektedir. Fakat +21,00 kotundaki çıkışlar kapalı olduğundan bu kottan yalnızca oturma yerinde bulunan merdivenler ile çıkış yapılabilmektedir.

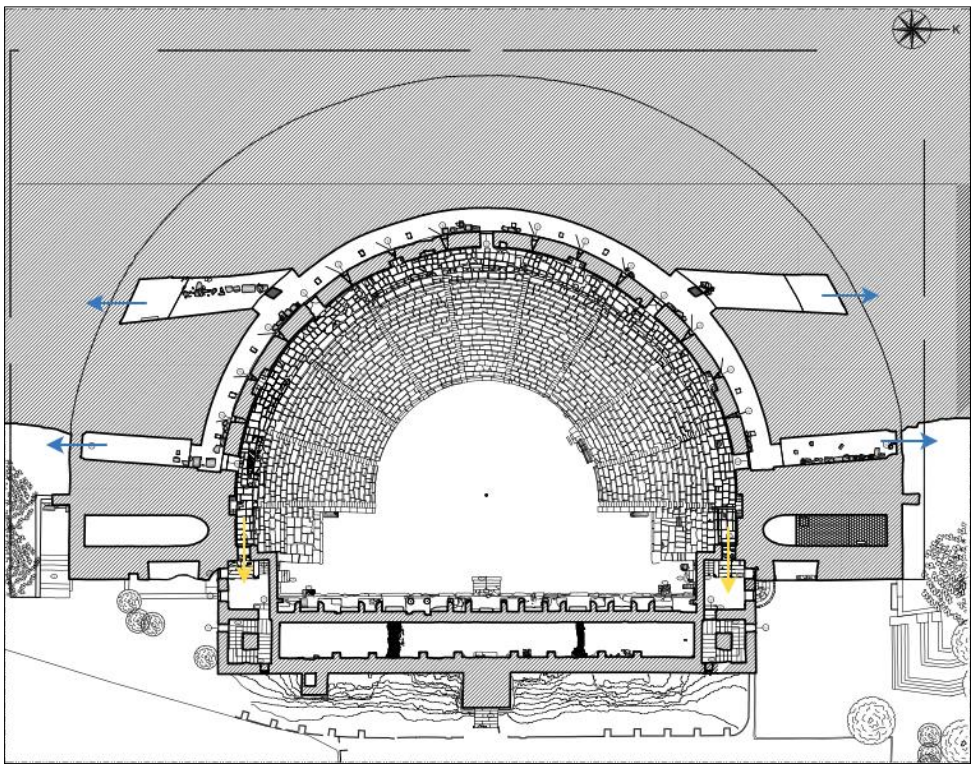
Yapının çizimlerinde görülen kullanılmayan ve kullanımda olan kapılar aşağıda planlar üzerinde işaretlenmiştir.

Modelleme sırasında kapı büyüklükleri yapının rölöve çizimleri baz alınarak modellenmiştir. Senaryolarda bu kapılar yapının orijinal kullanımı ile mevcut durumdaki kullanımı göz önünde bulundurularak tahliyeye dâhil edilmiş ya da dâhil edilmemiştir.



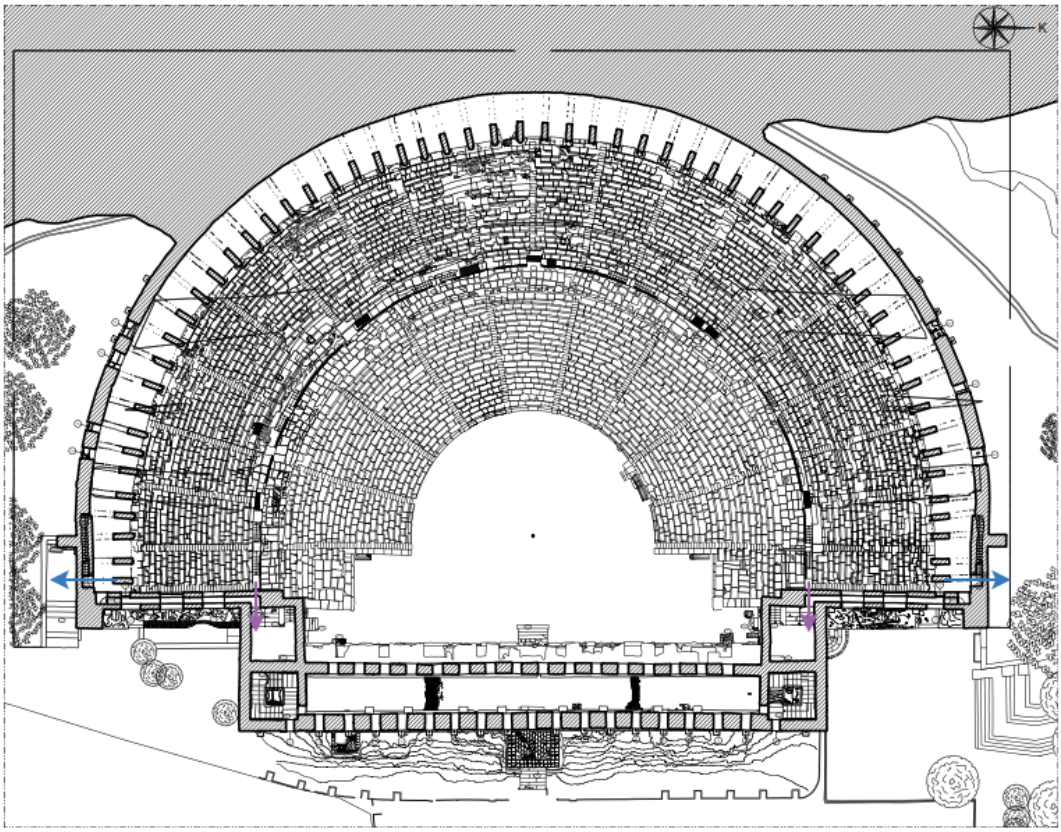
** mavi ok kullanımda olmayan çıkışları, kırmızı ok ise kullanımda olan çıkışları ifade eder.*

Şekil 3.11. 0.00 kotu çıkışları



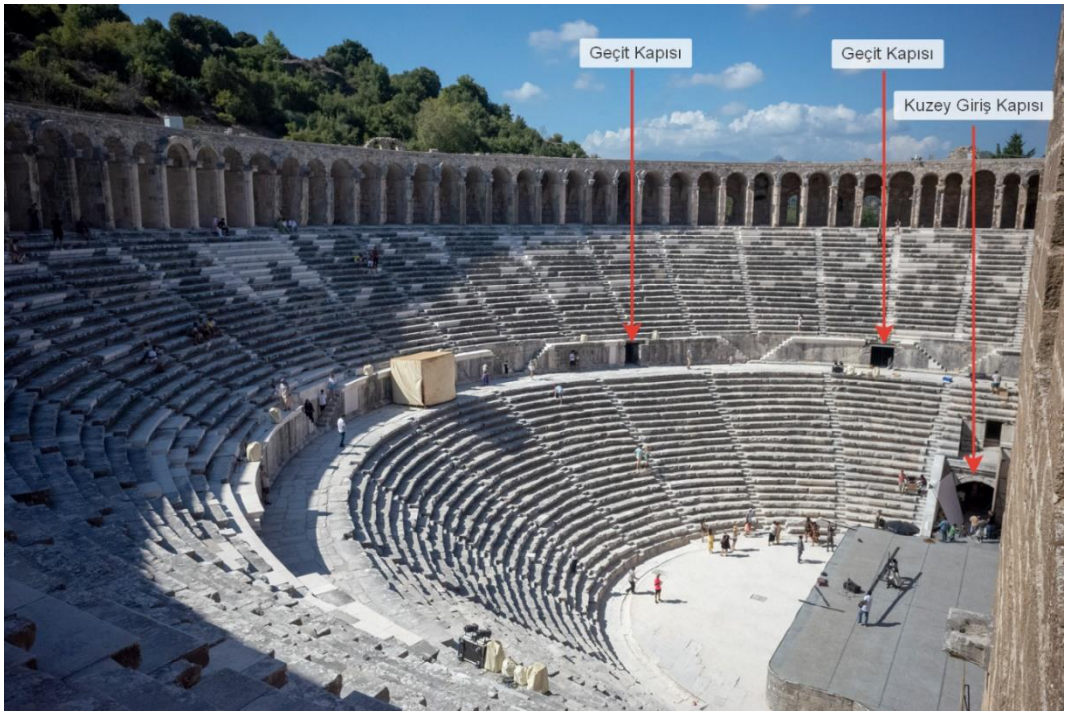
* mavi ok kullanımda olmayan çıkışları, sarı ok ise kullanımda olan merdiven kapılarını ifade eder.

Şekil 3.12. +8.60 kotu çıkışları



* mavi ok kullanımda olmayan çıkışları, mor ok ise kullanımda olmayan merdiven kapılarını ifade eder.

Şekil 3.13. +19,40 kotu çıkışları



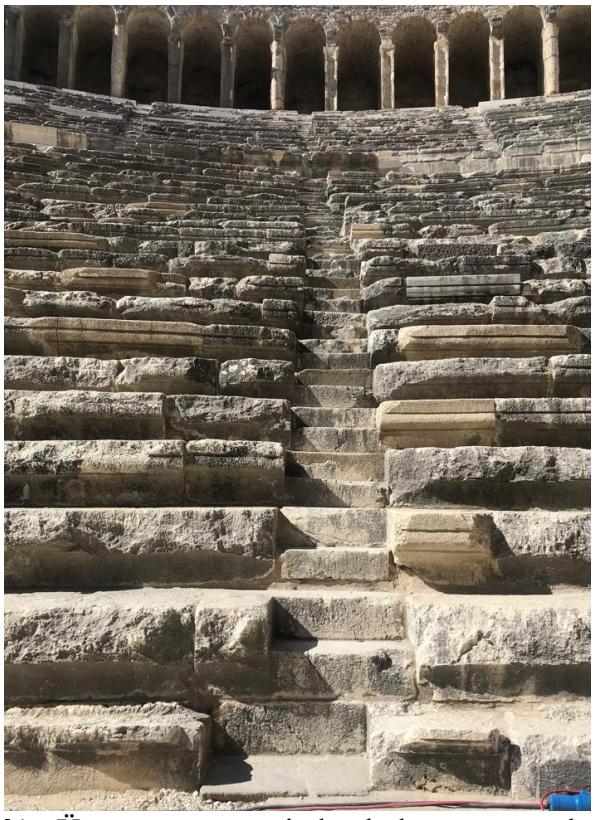
Resim 3.4. *Diazoma*'da bulunan geçit kapıları ile 0.00 kotundaki kuzey giriş kapısı

3.3.2. Merdivenler

Yapıda üç tip merdiven bulunmaktadır. Bunlar oturma yerlerindeki ışınsal merdivenler, sahne binasının merdivenleri ve *diazoma*'dan üst oturma yerine çıkan yan merdivenlerdir.

Oturma yerleri aralarındaki ışınsal merdivenler her bir oturma yeri arasında 2 basamak olacak şekilde yapılmıştır. Basamak genişliği 30 cm, rıht yüksekliği ise 20 cm olarak alınmıştır. Taşların aşınması ve kayıplar modele dahil edilmemiştir. Resim 3.7 ve resim 3.8'de bu merdivenlerin günümüzdeki durumunun detaylı fotoğrafı görülmektedir.





Resim 3.5. a) Alt oturma yerinde bulunan ışınsal merdiven, b) Üst oturma yerinde bulunan ışınsal merdiven

Diazoma'da oturma yeri yayına paralel şekilde yerleştirilmiş, 6 çift tek kollu yan merdiven bulunmaktadır. Bu merdivenler ile +8,60 kotundan +10,60 kotuna ulaşılmaktadır. Merdiven genişliği bir oturma yeri genişliğinde 60 cm'dir. Her biri 7 basamaklı merdivenlerin rıht yüksekliği 28 cm, basamak genişliği ise 30 cm'dir. Merdivenlerin çıktığı +10,60 kotundaki sahanlıkların altında geçitlere açılan kapılar bulunmaktadır.



Resim 3.6. a) Diazoma'dan üst oturma yerine çıkan yan merdivenler



b) Diazoma'dan üst oturma yerine çıkan yan merdivenler

Yapıda bulunan üçüncü merdiven tipi sahne binasının kuzey ve güney köşelerinde bulunan merdivenlerdir. Bu merdivenler, kapalı bir merdiven kovası içerisinde bulunan döner merdivenlerdir. 0.00 kotu ile +8.60 kotundaki *diazoma*'yı birbirine bağlar. Üst galeriye ise bu merdivenler ile ulaşılamamaktadır. Merdivenlerde 0.00 kotunda yapının dışına açılan birer kapı bulunur. Basamaklar günümüze deforme olmuştur fakat kullanılmaktadır.



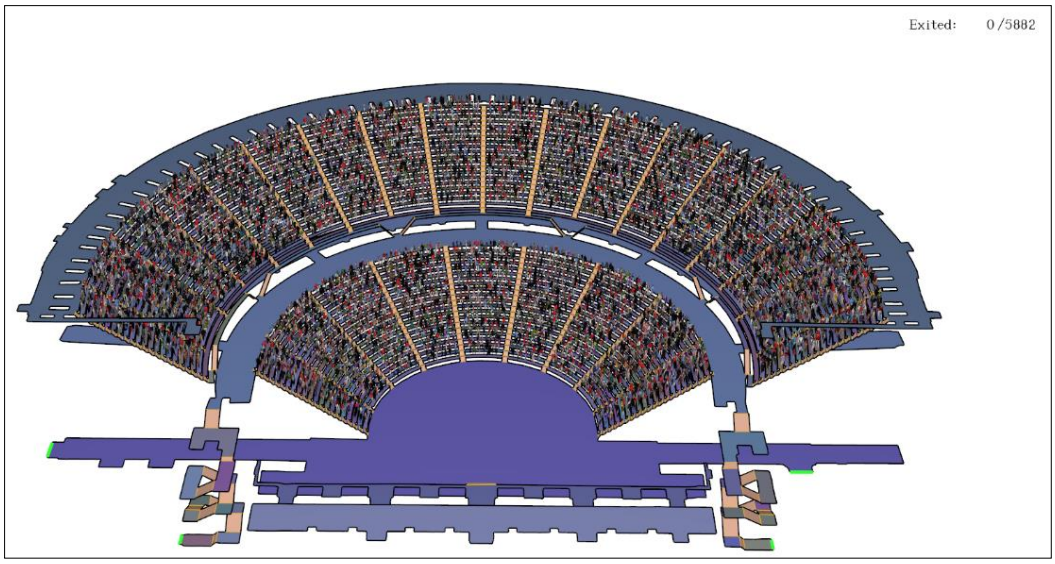
Resim 3.7. a) Sahne binası merdivenleri iç görünüm



b) Sahne binası merdivenleri dış görünüm

3.3.3. Seyirci kapasitesi tespiti

Tiyatroda sabit koltuk yerine bank tipi olarak tanımlayabileceğimiz oturma yerleri bulunmaktadır. Bu nedenle kullanıcı yükü hesabı NFPA 101 Tablo 7.3.1.2'de verilen katsayıya göre hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken çizim üzerinde 60 cm genişliğindeki oturma yerlerinin tam ortası alınarak her seyirci için 45,5 cm alan ayrılmıştır. Bu hesaba göre toplam kullanıcı yükü 5882 kişi olarak bulunmuştur. Bulunan kullanıcı sayısına göre yapılan modelde kullanıcıların konumları, oturma yerlerinde her seyirci için ayrılan alanın ortalarına atılan noktalar ile belirlenmiştir.



Şekil 3.14. Pathfinder benzetim modelinde tam kapasite doluluk durumu

3.4. Normal Tahliye Gözlemi (mevcut durum ve 1233 kişi)[1]

Aspendos Antik Tiyatrosu günümüzde çeşitli gösteri ve konserlerde kullanılmaktadır. Konser sonrasında kalabalık tahliyesini gözlemlemek amacıyla 28. Uluslararası Aspendos Opera ve Bale Festivali kapanış konseri olan Gala Konser etkinliğine gidilerek 1233 kişinin tahliyesi gözlemlenmiştir.

Devlet Opera ve Balesi Genel Müdürlüğü'nden edinilen bilgilere göre konser etkinliğinde bulunan izleyici istatistiği çizelge 3.3'te verilmiştir. Etkinlik bilet satışından elde edilen bu

[1] Bu kısım Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning dergisinde 30 haziran 2022 tarihinde cilt 10 sayı 2'de yayınlanmıştır.

verilere göre satışa sunulan koltuk sayısı 1944 olarak verilmiştir. Bu koltukların % 63,43'ü satılmış ve etkinliğe toplam 1233 kişi katılmıştır. Gözlem sırasında kronometre kullanılarak tahliyenin kaç dakika sürdüğü ölçülmüştür.

Çizelge 3.3. Uluslararası Aspendos Opera ve Bale Festivali Gala Konser Etkinliğine Katılan Kişi Sayısı ve Doluluk Oranı

Protokol	52
Tam	714
İndirimli	467
Toplam Seyirci Sayısı	1233
Koltuk Sayısı	1944
Genel Seyirci Yüzdesi	63,43%

3.5. Benzetim Senaryoları

Tezde, beş alternatif senaryonun benzetim modeli yapılmıştır. Senaryolar daha önce gözlem yapılmış olan etkinlik verileri, yapının kullanım durumu ve yürüme hızı olarak üç faktör ile oluşturulmuştur. Çizelge 3.4'te senaryolarda kabul edilen değerler verilmiştir.

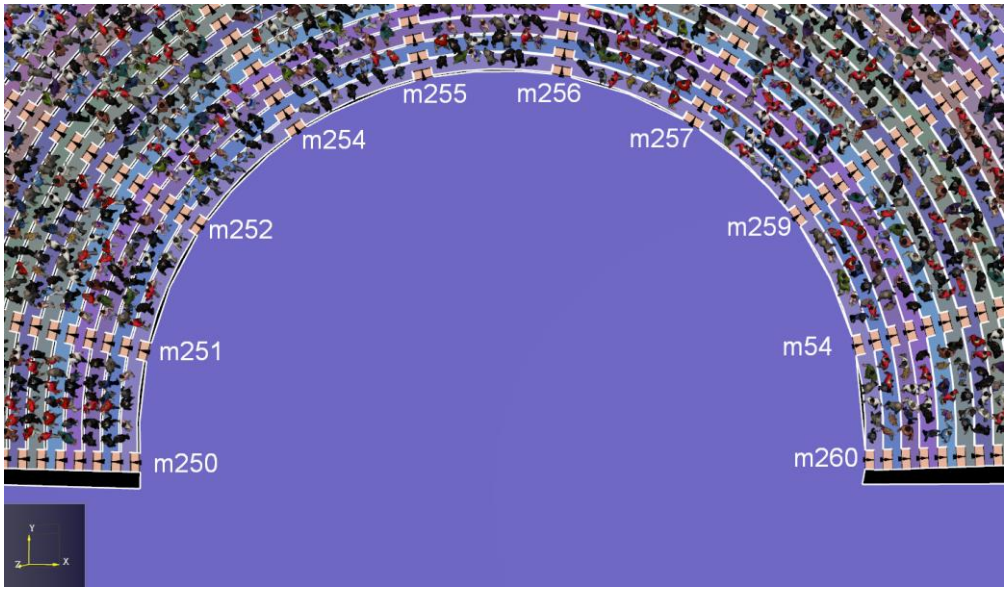
Çizelge 3.4. Benzetim modelinde oluşturulan senaryolar

	Yürüme hızı (m/s)	Kullanıcı Yoğunluğu (kişi)	Yapı kullanım durumu
Senaryo 00	1,19 (varsayılan)	1233	Günümüz kullanımı
Senaryo 1a	1,19 (varsayılan)	5882	Günümüz kullanımı
Senaryo 1b	1.38	5882	Günümüz kullanımı
Senaryo 2a	1,19 (varsayılan)	5882	Orijinal kullanım
Senaryo 2b	1,38	5882	Orijinal kullanım

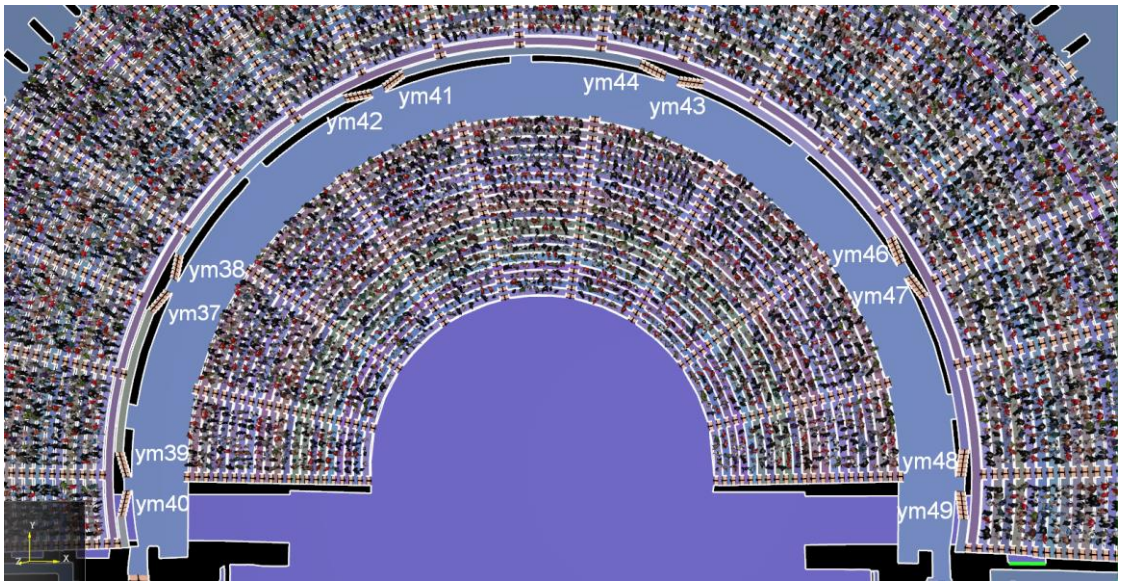
Yapının kullanım durumu, orijinal tasarımda bulunan merdiven, kapı gibi öznelerin günümüzde kullanılıp kullanılmama durumuna göre senaryolara eklenmiştir. Yürüme hızında ise kullanılan programın varsayılan yürüme hızı ve yazın araştırmaları sonucu elde edilen, yaş ve cinsiyete göre ortalama yürüme hızı olarak iki değer kullanılmıştır.

Kullanıcı yoğunluğu için ilk senaryoda Devlet Opera ve Balesi Genel Müdürlüğü'nden edinilen, konser etkinliğinde bulunan izleyici bilgisi kullanılmıştır. Diğer dört senaryoda ise NFPA 101 kullanıcı yoğunluğu tablosuna göre hesaplanan kişi sayısı ile model oluşturulmuştur.

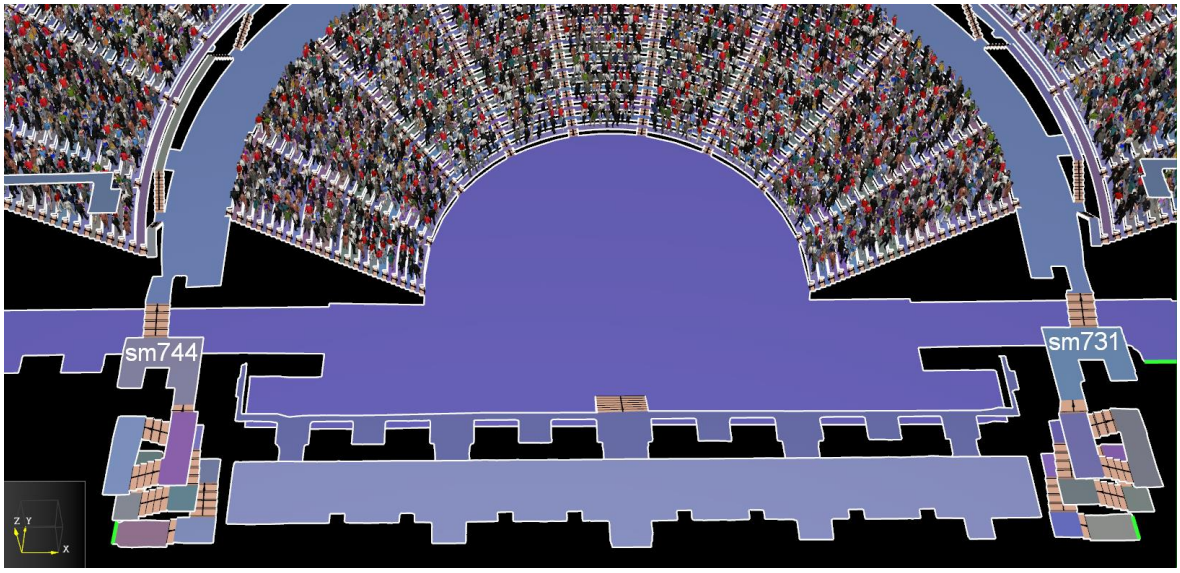
Merdivenlerdeki akış hızlarının ölçülmesi amacıyla yapıda bulunan üç tip merdiven tiplerine ve model içerisindeki koduna göre isimlendirilmiştir. Alt oturma yerindeki ışınsal merdivenler m250, m251, m252, m254, m255, m256, m257, m259, m54, m260 olarak, *diazoma*'dan üst oturma yerine çıkan yan merdivenler ym37, ym38, ym39, ym40, ym41, ym42, ym43, ym44, ym46, ym47, ym48, ym49 olarak, sahne binasındaki merdivenler ise sm731 ve sm744 olarak adlandırılmıştır. İsimlendirilen merdivenlerin yerleri şekil 3.15, şekil 3.16 ve şekil 3.17'deki model görüntüleri üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Işınsal merdivenlerin isimlendirilmesi



Şekil 3.16. Yan merdivenlerin isimlendirilmesi



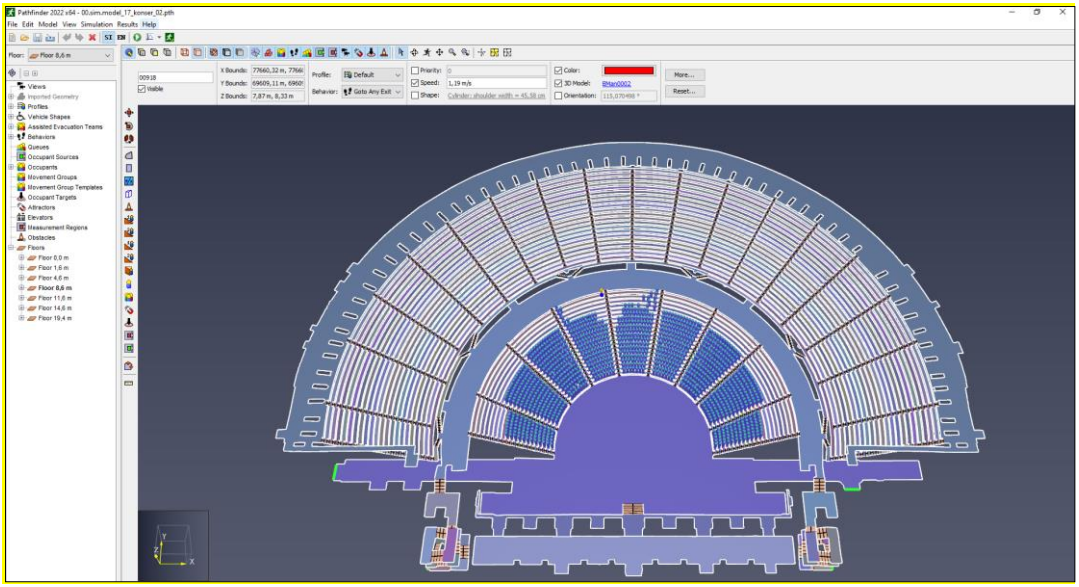
Şekil 3.17. Sahne binasındaki merdivenlerin isimlendirilmesi

3.5.1. Senaryo 00 (mevcut durum ve 1233 kişi- 1,19 m/s yürüme hızı)

Senaryo 00, 28. Uluslararası Aspendos Opera ve Bale Festivali kapanış konseri olan Gala Konser etkinliğinde yapılan gözlem verilerine göre oluşturulmuştur. Gözlemi yapılan konserin benzetim modeli bilgisayar ortamında hazırlanmıştır.

Modelde, kapı ve merdiven kullanımları, konserde olduğu gibi günümüz şartlarına göre oluşturulmuştur. Konser biletleri koltuk numarası olmadan bölüm olarak ayrılarak satıldığından insanların yerleri kesin olarak belirlenememiştir. Bu nedenle bölümlerdeki kullanıcı yoğunluğu konser ile birebir aynı modellenememiştir. İnsanların konser sırasında alt oturma yerinde yoğun olarak oturdukları gözlemlendiğinden modelde de sadece alt oturma yerine kullanıcı yerleştirilmiştir.

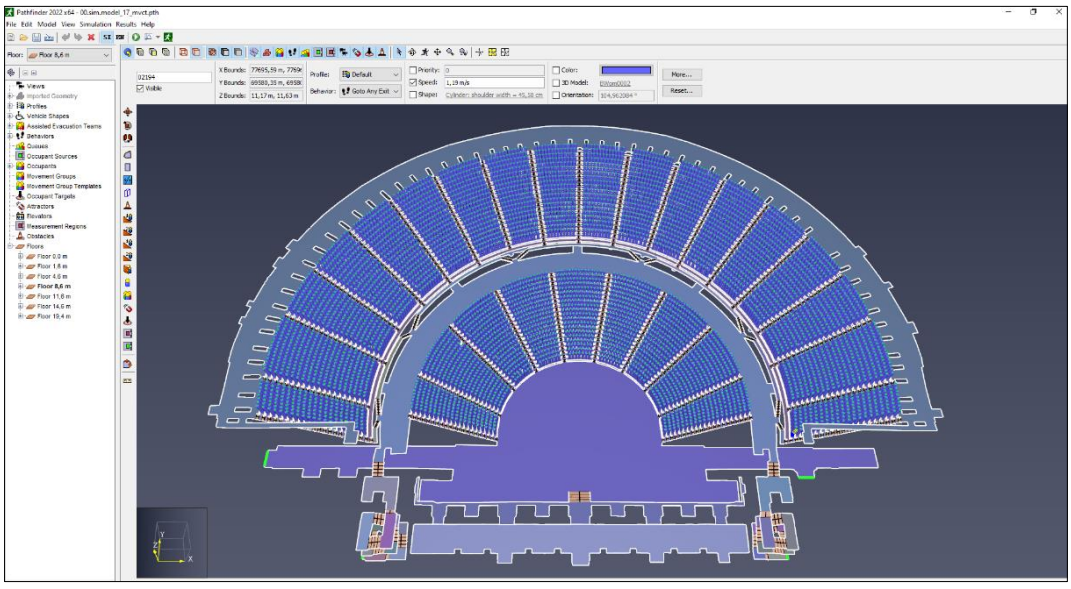
Konser gözleminde video ile hareket süresi ölçülen kişi ile aynı yaş grubunda ve cinsiyette bir kullanıcı seçilerek benzetim modelinde aynı konuma yerleştirilmiş ve hareketi gözlenmiştir. Modelde seçilen kişinin, konserdeki kişi ile aynı ışınsal merdiveni (m255) kullanması için davranış özelliği değiştirilmiştir.



Şekil 3.18. Senaryo 00 Pathfinder benzetim modeli

3.5.2. Senaryo 01a (mevcut durum ve 5882 kişi- 1,19 m/s yürüme hızı)

Fruin (1987), çalışmasında kullanıcıları yaş ve cinsiyetlerine göre ayırmış ve yürüme hızlarını açıklamıştır. Pathfinder benzetim programı da bu verilere referans vererek varsayılan yürüme hızını 1,19 m/s olarak kabul etmiştir (Thunderhead Engineering, 2021). Senaryo 1a'da varsayılan yürüme hızında oynama yapılmadan ölçüm yapılmıştır. Yapının merdiven ve kapı kullanımı günümüz koşullarındaki kullanımına göre benzetim modeline dahil edilmiştir.

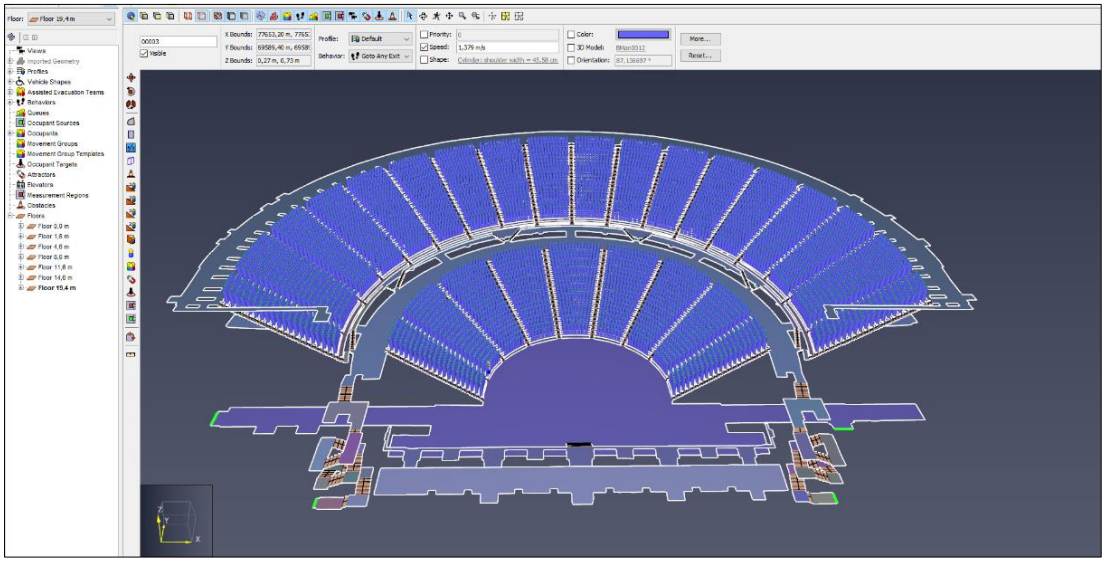


Şekil 3.19. Senaryo 01a Pathfinder benzetim modeli

3.5.3. Senaryo 01b (mevcut durum ve 5882 kişi - 1,38 m/s yürüme hızı)

Senaryo 2b, senaryo 2a'da olduğu gibi günümüz koşullarında ve NFPA 101 kullanıcı yoğunluğu tablosuna göre hesaplanan 5882 kullanıcı sayısı ile modellenmiştir.

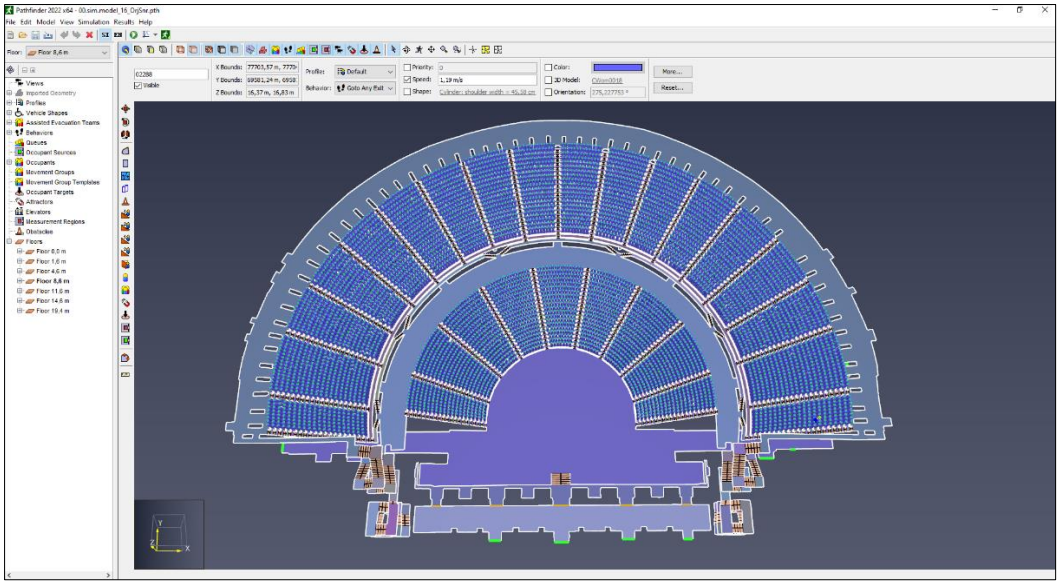
Bu senaryoda yürüme hızı (Rahouti vd., 2021)'in derlediği cinsiyetlere göre ortalama yürüme hızı tablosuna göre belirlenmiştir. Ortalama hız hesabı, tablodaki kadın erkek ve genç hızlarının ortalaması alınarak 1,38 m/s bulunmuştur. ((1,41+1,32+1,41)/3=1,38 m/s)



Şekil 3.20. Senaryo 01b Pathfinder benzetim modeli

3.5.4. Senaryo 02a (orijinal tasarım ve 5882 kişi - 1,19 m/s yürüme hızı)

Senaryo 02a'da yapının orijinalinde bulunduğu düşünülen yapı elemanları benzetime dâhil edilmiştir. Bunlar günümüzde kullanımda olmayan geçitten yapının dışına açılan kapılar, sahne binasındaki yapının ön cephesinde bulunan kapılar ve sahne binasında +19,40 kotundaki üst galeriye ulaşımı sağlayan merdivenlerdir. Bu modelde yine Senaryo 1a da olduğu gibi yürüme hızı 1,19 m/s olarak kabul edilmiştir.

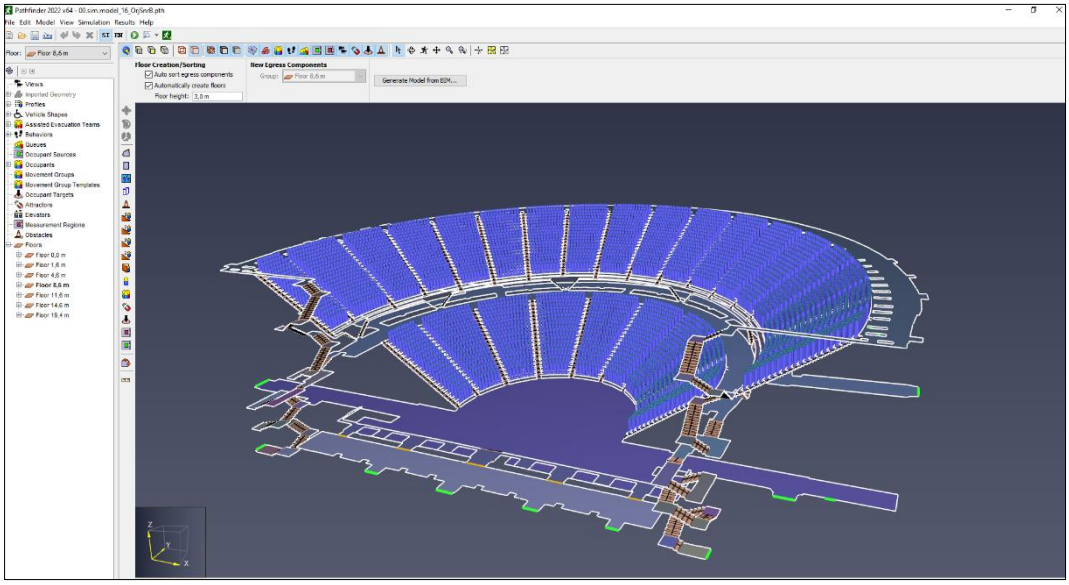


Şekil 3.21. Senaryo 02a Pathfinder benzetim modeli

3.5.5. Senaryo 02b (orijinal tasarım ve 1,38 m/s yürüme hızı)

Senaryo 02b, senaryo 02a'da benzetim modeline dahil edilen yapının orijinalindeki yapı elemanları kullanılmıştır. Senaryo 02a'dan farklı olarak yürüme hızı (Rahouti vd., 2021)'in derlediği cinsiyetlere göre ortalama yürüme hızı tablosuna göre belirlenmiştir.

Ortalama hız hesabı, tablodaki kadın erkek ve genç hızlarının ortalaması alınarak 1,38 m/s bulunmuştur. ((1,41+1,32+1,41)/3=1,38 m/s)



Şekil 3.22. Senaryo 02b Pathfinder benzetim modeli

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 28. Uluslararası Aspendos Opera ve Bale Festivali kapanış konseri olan Gala Konser etkinliğinde yapılan tahliye gözlemi sonuçları ile Aspendos Antik Tiyatrosu'nun Patfinder 2022 programında oluşturulan benzetim modelinin 5 adet senaryosunun sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelge 4.1'de listelenmiştir.

Çizelge 4.1. Tahliye senaryolarının karşılaştırılması

	Yürüme hızı (m/s)	Kullanıcı Yoğunluğu (kişi)	Yapı kullanım durumu	Tahliye Süresi (dk s)
Gözlem		1233	Günümüz kullanımı	16 dk
Senaryo 00	1.19 (varsayılan)	1233	Günümüz kullanımı	7 dk 27 s
Senaryo 1a	1.19 (varsayılan)	5882	Günümüz kullanımı	28 dk 37 s
Senaryo 1b	1.38	5882	Günümüz kullanımı	22 dk 14 s
Senaryo 2a	1.19 (varsayılan)	5882	Orijinal kullanım	19 dk 26 s
Senaryo 3b	1.38	5882	Orijinal kullanım	17 dk 20 s

Tüm sonuçlara bakıldığında en kısa tahliye süresi 7 dakika 27 saniye, en uzun tahliye süresi ise 28 dakika 37 saniyedir. Fakat senaryolarda kullanılan girdilerin sonuca etkisinin görülebilmesi için tahliye sürelerinin kıyaslanması üç farklı girdilerden ikisi sabit tutulup, değişken olan bir girdiye göre yapılmıştır. Bulgulardan bir diğeri ise gözlem sonucu ile gözlemdeki aynı verilerin kullanıldığı senaryo 00 kıyaslamasıdır.

4.1. Tahliye Gözlemi Sonuçları

Yapılan gözleme göre, 1233 kişinin bulunduğu etkinlikte konserin bittiği andan itibaren güvenlik ve konser görevlileri dışında kalan tüm seyircilerin çıkışı 16 dakika sürmüştür. Konsere girişler bilet kontrolü sebebi ile kuzey yöne bakan sahne binası kapısından yapılmıştır. Konser sonrasında seyircilerin çoğunluğunun çıkış için yine aynı kapıyı tercih ettiği gözlenmiştir.



Resim 4.1. a) Etkinlik giriş sırası



b) Etkinlik hazırlıkları

Tahliye sırasında izleyicilerden bir kişi seçilerek tahliye davranışı gözlemlenmiş, video ve fotoğraf çekimi ile belgelenmiştir. Video içerisinden alınan görüntülerde, seçilen kişinin alt oturma yerinde bulunan merdivenleri inme süresi video dakikalarında görülmektedir. Kişi alt oturma yerinde bulunan 40 basamağı toplam 88 saniye içerisinde inmiştir. Fujiyama & Tyler (2004), çalışmalarında merdiven rıht yüksekliği ve basamak genişliğinin yürüme hızına etkisi araştırılmış ve sonucunda merdiven açısı arttıkça yürüme hızının azaldığını söylemişlerdir. Bölüm 2.2.4.'te verilen çizelge 2.7'de bu veriler görülmektedir. Tiyatronun oturma yeri kesitinde basamak açıları ölçüldüğünde merdiven açısının ortalama 35° olduğu görülmüştür. Çizelge 2.7'ye göre bu açıda yürüme hızı yavaştır.



Resim 4.2. a) Dakika 01.01



b) Dakika 01.47



c) Dakika 02.01

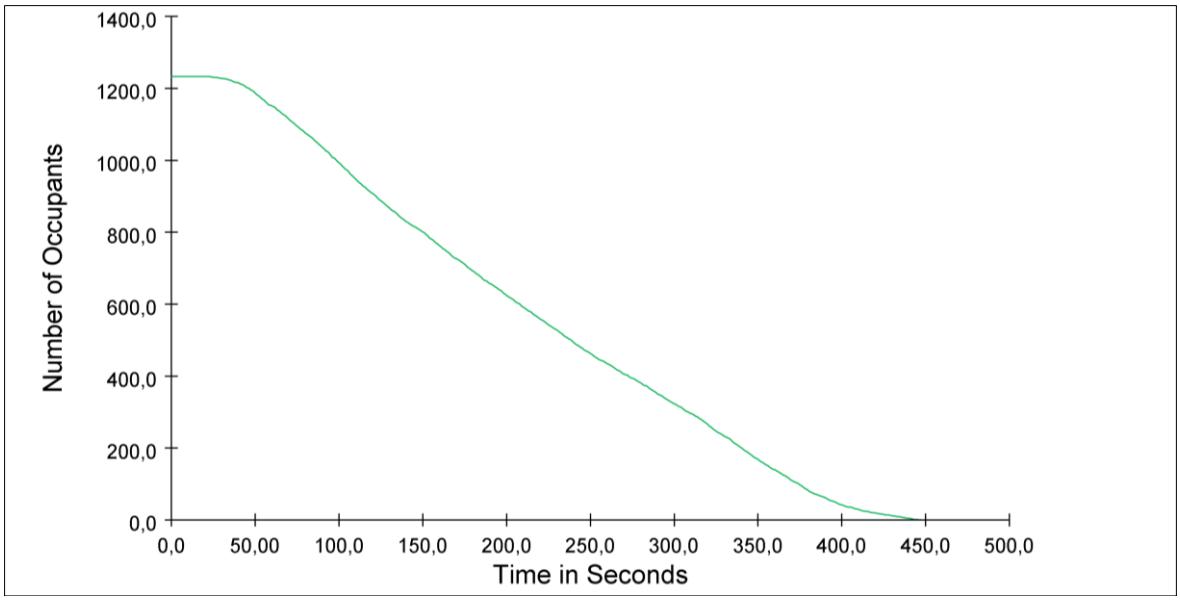


d) Dakika 02.29

4.2. Tahliye Benzetim Modeli Sonuçları

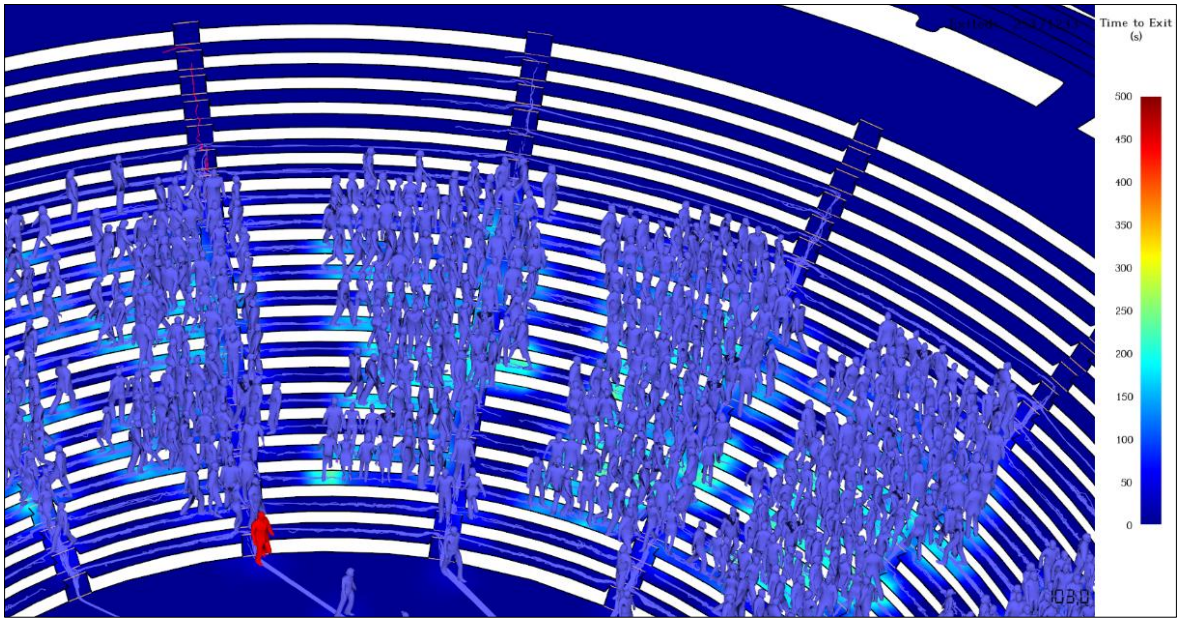
Pathfinder 2022 benzetim modeli ile oluşturulan beş senaryonun bulguları aşağıda açıklanmıştır.

Senaryo 00'da benzetim modeli sonucunda 1233 kişinin toplam tahliye süresi 7 dakika 27 saniye olarak ölçülmüştür. Şekil 4.1'de verilen grafik, tahliye süresi içinde yapıda bulunan kullanıcı sayısını göstermektedir. Yapıdan çıkış başladığı andan itibaren kapılarda tıkanıklık olmadan çıkışın sürdüğü grafikte görülmektedir.



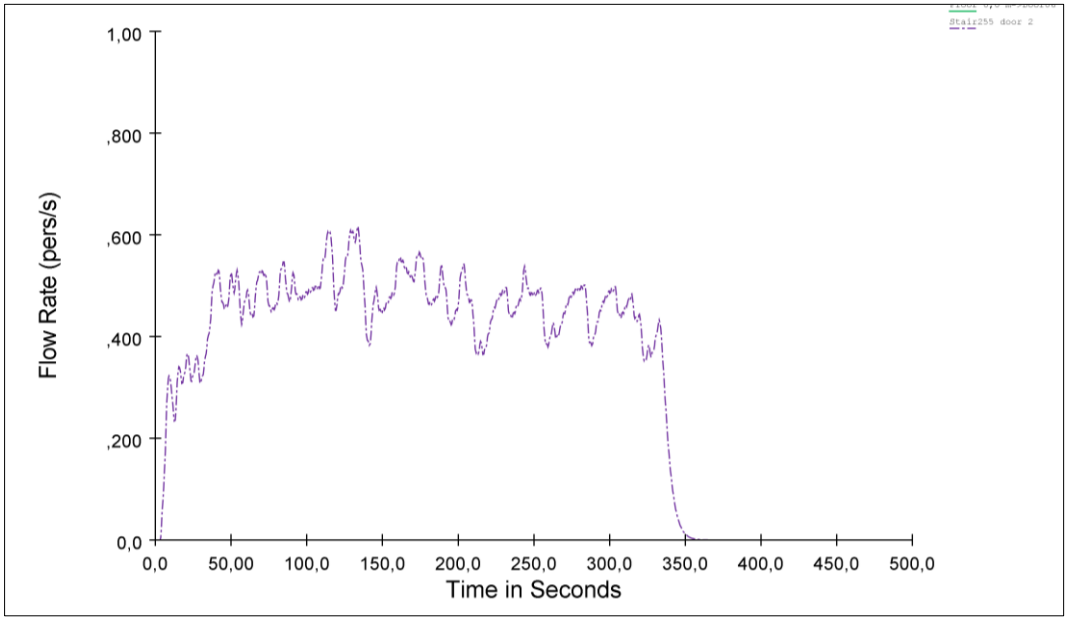
Şekil 4.1. Yapıda bulunan kullanıcı sayısı-zaman grafiği

Konser gözleminde video ile hareket süresi ölçülen kişi ile aynı yaş grubunda ve cinsiyette bir kullanıcı seçilerek benzetim modelinde aynı konuma yerleştirilmiş ve hareketi gözlenmiştir. Modelde seçilen kişinin, konserdeki kişi ile aynı ışınsal merdiveni (m255) kullanması için davranış özelliği değiştirilmiştir. Modeldeki kişinin bu merdivenden inme süresi 103 saniye olarak ölçülmüştür. Şekil 4.2'de kırmızı ile boyanan kişinin aldığı yol ile indiği andaki hareket süresi görülmektedir. Gerçek durumda merdivendeki kişinin merdivenden iniş süresi daha kısadır. Bu durumun benzetim modelinde merdiven yoğunluğunun gerçek durumdan daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Merdiven iniş hızı benzetim modelinde daha uzun sürmüş olsa da toplam tahliye süresi gerçek durumdan daha kısa sürmüştür. İnsanlar ışınsal merdivenlerde sıra oluşturmuş 0.00 kotuna ulaştıktan sonra tıkanıklık ya da sıra oluşumu gözlenmeden yapıdan çıkmışlardır.



Şekil 4.2. Seçilen kişinin m255 merdiveni üzerindeki aldığı yol

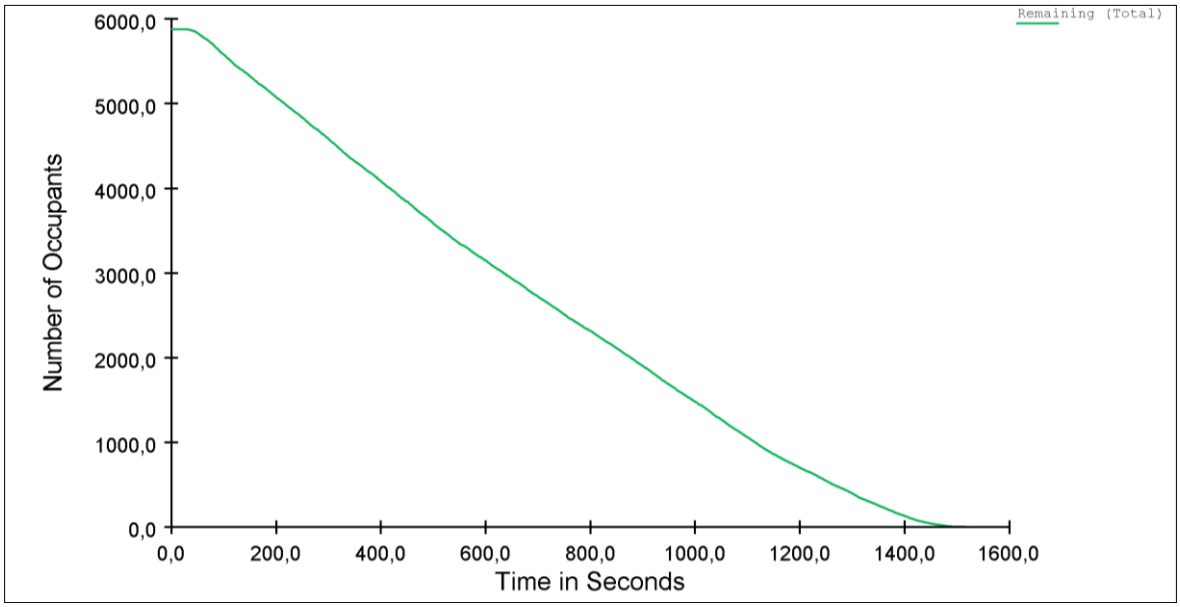
Pathfinder programındaki varsayılan merdiven akış hızı 0,918 m/s'dir. Şekil 4.3'te m255 merdiveninin akış hızı grafiği görülmektedir. m255 merdiveninde akış hızı grafiği incelendiğinde merdivenin en yüksek akış hızının 0.60 kişi/s olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Senaryo 00'da m255 merdivenindeki akış hızı grafiği

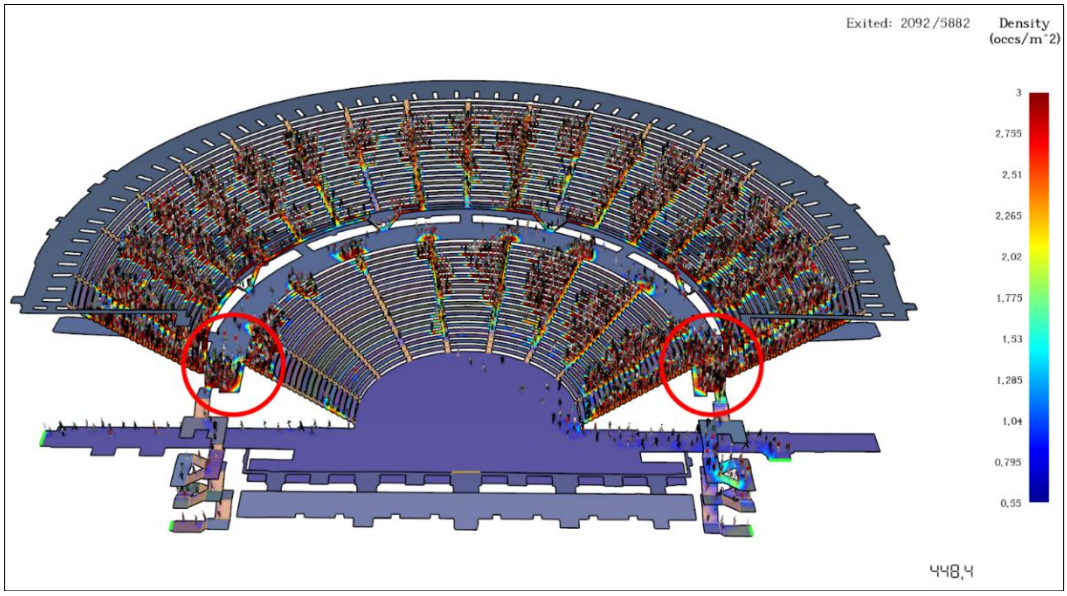
Senaryo 01a'da tiyatronun tam kapasite dolu durumda 28 dakika 37 saniyede boşaldığı görülmüştür. Bu süre tüm gözlem ve senaryo sonuçları içinde en yüksek tahliye süresidir. Şekil 4.4'te verilen grafik tahliye süresinde yapıda bulunan kullanıcı sayısını

göstermektedir. Bu senaryoda da grafiğe bakıldığında kırılma noktası görülmemektedir. Bu nedenle yapıdan çıkış başladığı andan itibaren kapılarda tıkanıklık olmadan çıkışın sürdüğü anlaşılabilir.



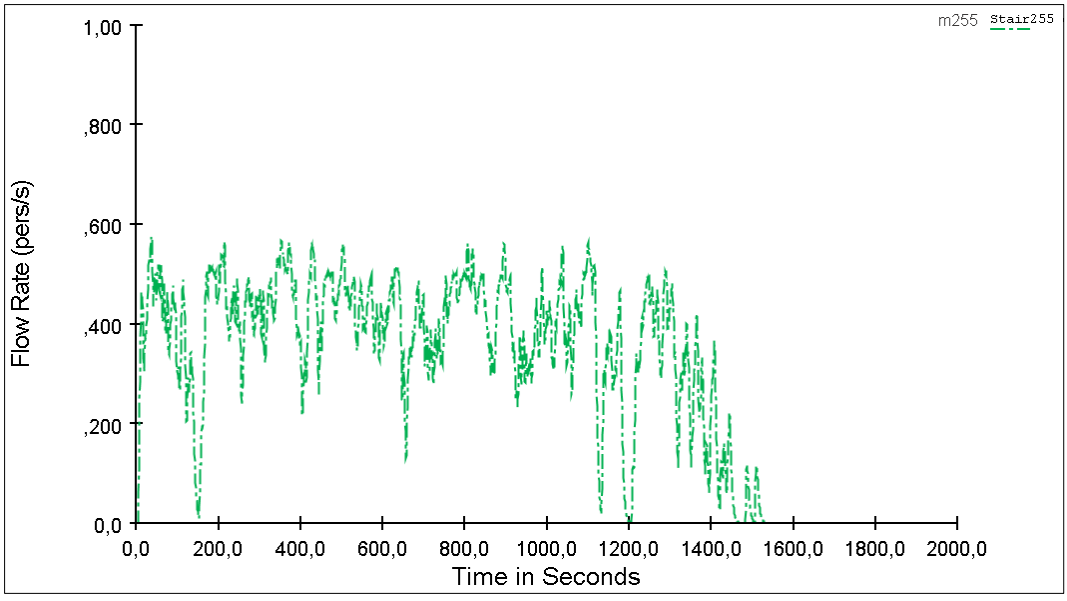
Şekil 4.4. Yapıda bulunan kullanıcı sayısı-zaman grafiği

Yapıda tıkanıklık olmasa da kullanıcıların yürüme hızları merdivenlerde azaldığından buralarda sıra oluştuğu görülmüştür. Çıkışlarda sıra oluşumu, ana çıkış kapılarından daha çok sahne binasının merdiven girişlerinde ve oturma yerindeki ışınsal merdivenlerde yaşandığı görülmüştür. Şekil 4.5'te verilen benzetim modelinden alınmış görüntüde bu merdivenlerde oluşan sıra görülmektedir. Bu durum bölüm 4.1.'de yapılan gözlem sonuçları ile örtüşmektedir.

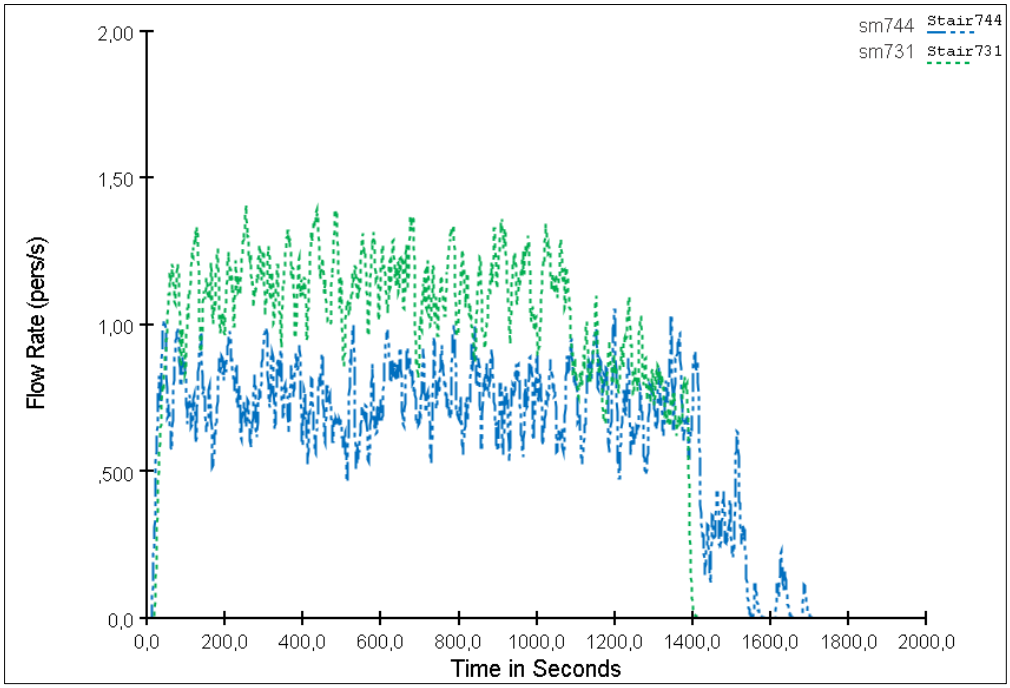


Şekil 4.5. Senaryo 01a'da tahliye başlangıcından 7 dakika 28 saniye sonra merdivenlerde oluşan yoğunluk

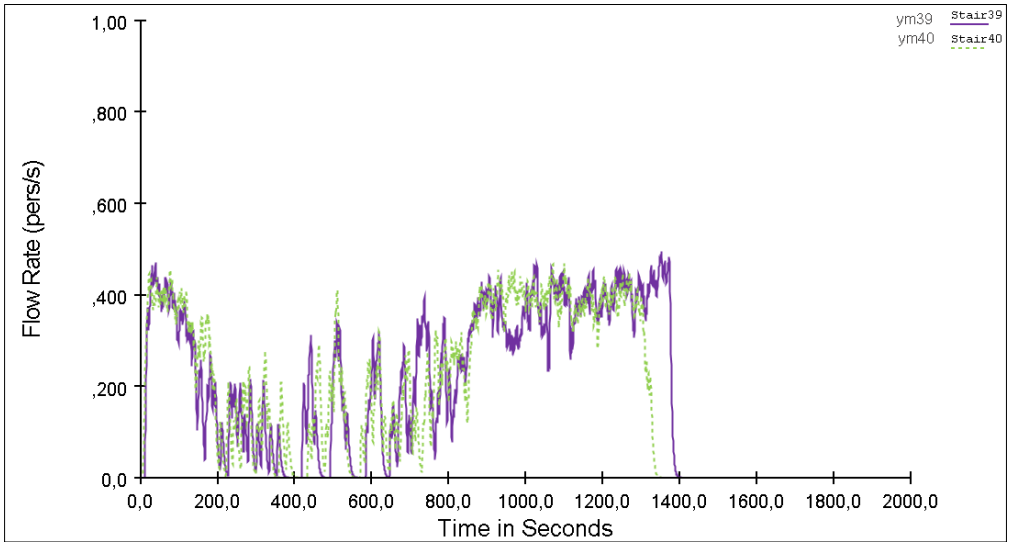
Şekil 4.6, şekil 4.7 ve şekil 4.8 bu senaryoda alt oturma yerinden seçilen bir ışınsal merdiven (m255), sahne binasında bulunan merdivenler (sm731 ve sm744) ve *diazoma*'daki yan merdivenlerin (ym39 ve ym40) akış hızı grafiklerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde akış hızı en yüksek sahne binası merdivenleri olan sm731 ve sm744 olduğu görülmektedir. Bu merdivenlerde tahliye başladıktan kısa bir süre sonra başlayan akış sürekli ve yüksek bir değerde tahliye bitimine kadar devam etmektedir. *Diazoma*'da bulunan yan merdivende ise akış hızı en yüksek 0,4 kişi/s'dir.



Şekil 4.6. m255 merdivenindeki akış hızı grafiği

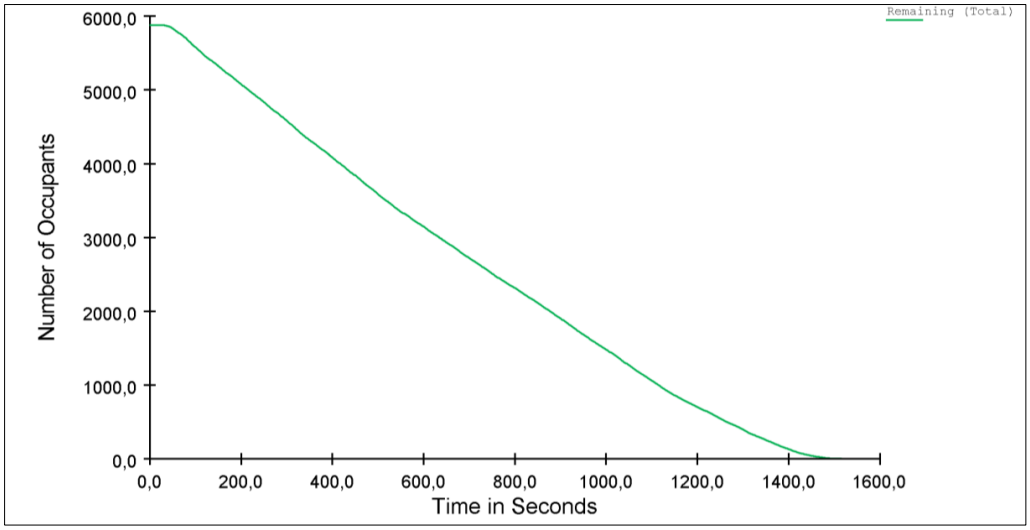


Şekil 4.7. sm731 ve sm744 merdivenlerindeki akış hızı



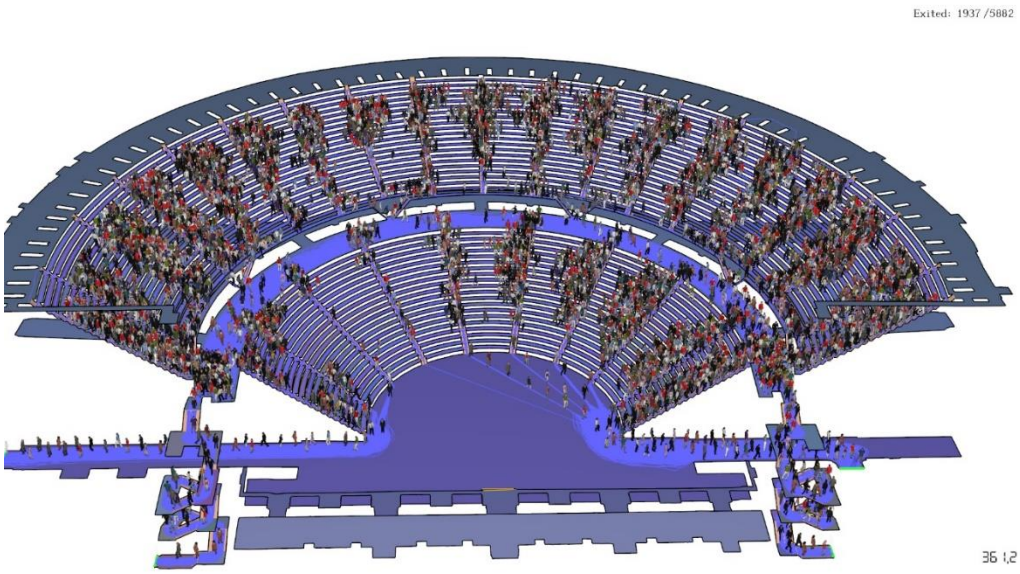
Şekil 4.8. ym39 ve ym40 merdivenlerindeki akış hızı

Senaryo 01b'de yapının 5882 kişilik tam kapasite ile normal tahliye süresi 22 dakika 14 saniye olarak ölçülmüştür. Senaryo 01a'dan farklı olarak bu senaryoda yürüme hızı 1,38 m/s olarak alınmıştır. Yürüme hızının artması tahliye süresini 6 dakika 23 saniye kısaltmıştır. Şekil 33'te verilen grafik tahliye süresinde yapıda bulunan kullanıcı sayısını göstermektedir. Bu senaryoda da grafiğe bakıldığında kırılma noktası görülmemektedir. Bu nedenle yapıdan çıkış başladığı andan itibaren kapılarda tıkanıklık olmadan çıkışın sürdüğü anlaşılabilir.



Şekil 4.9. Yapıda bulunan kullanıcı sayısı-zaman grafiği

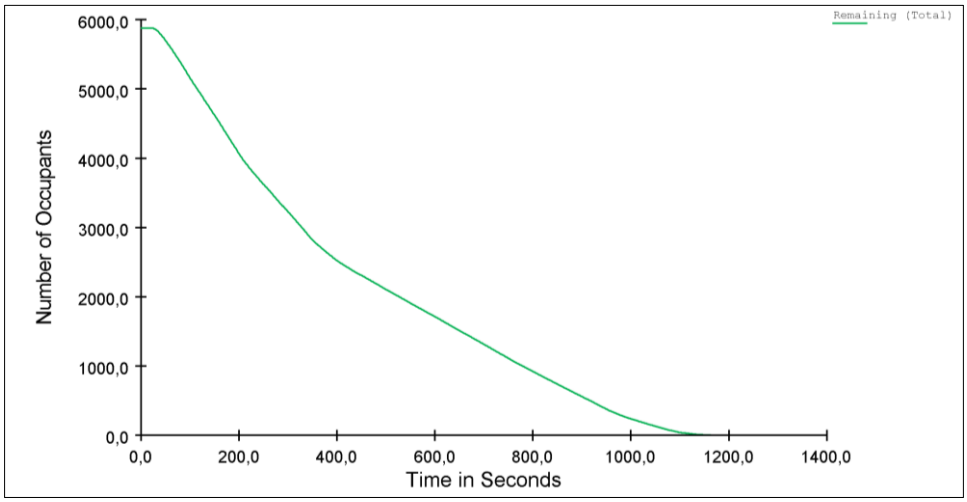
Yürüme hızının değişmesi sıra oluşumu durumunda değişiklik yapmamıştır. Senaryo 1a'da olduğu gibi bu senaryoda da yapıda tıkanıklık olmasa da merdivenlerde sıra oluştuğu görülmüştür. Çıkışlarda sıra oluşumu, ana çıkış kapılarından daha çok sahne binasının merdiven girişlerinde ve oturma yerindeki ışınsal merdivenlerde yaşandığı görülmüştür. Şekil 34'te 667. saniyede kullanıcıların durumları ile çıkış için kullandıkları yollar görülmektedir.



Şekil 4.10. Senaryo 01b'de kullanıcıların kullandıkları yollar

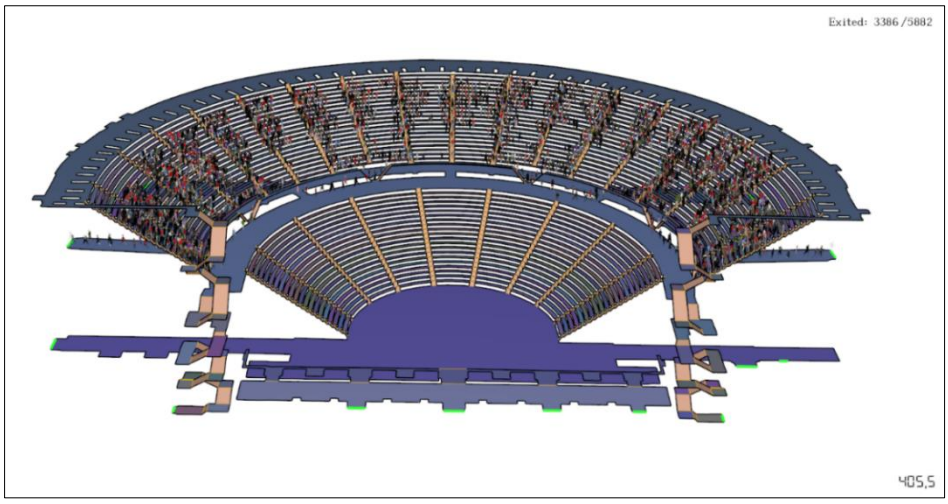
Senaryo 02a, senaryo 01a'dan farklı olarak yapı kullanımında değişiklik yapılmıştır. Yapının orijinal tasarımında bulunduğu düşünülen kapı ve merdivenler de tahliye

analizinde hesaba katılmıştır. Bu durumda 5882 kişilik kapasite ve 1,19 m/s yürüme hızı ile tiyatronun 19 dakika 26 saniyede boşaldığı görülmüştür. Şekil 35'te tahliye süresi içinde yapıda bulunan kişi sayısının değişimini gösteren grafik verilmiştir.



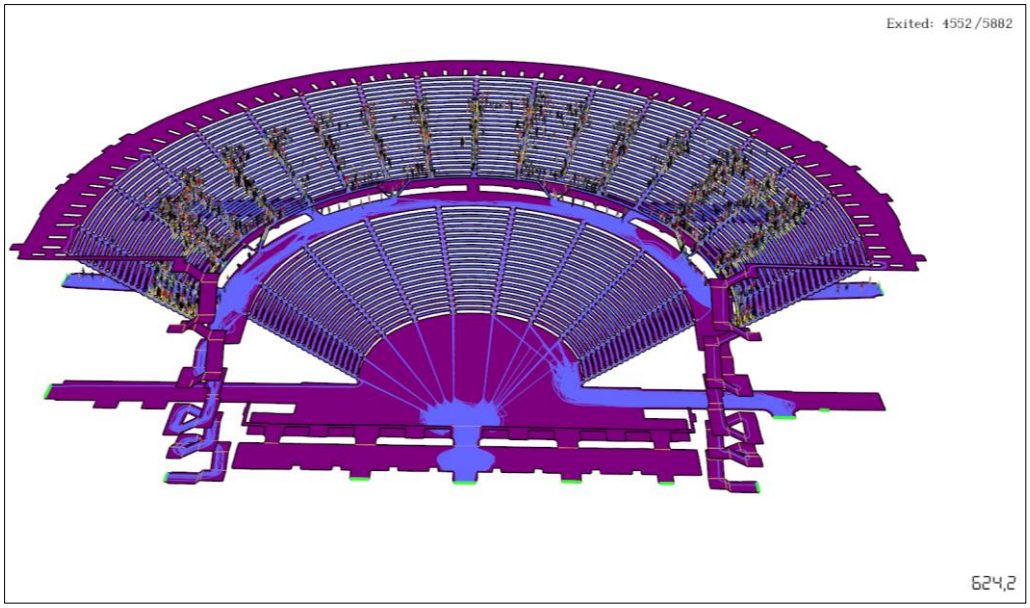
Şekil 4.11. Senaryo 02a'da yapıda bulunan kullanıcı sayısı ve zaman grafiği

Bu senaryoda mevcut durumdan farklı olarak eklenen geçit kapılarının yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Alt oturma yerinin 6 dakika 45 saniye sonra boşalmasından itibaren üst oturma yerinde bulunan bütün kullanıcılar sadece bu 4 geçit kapısını kullanmışlardır. Şekil 36'da görülen bu durum, programda kullanıcılara en yakın kapıya git komutu verilmesinden kaynaklanmaktadır. Sahne binasının merdivenleri ise hiçbir kullanıcı tarafından kullanılmamıştır.



Şekil 4.12. Senaryo 02a'da tahliye başlangıcından 6dk 45s sonraki durum

Senaryo 02b'de yapının orijinal durumunda tam kapasite dolu durumunda (5882 kişi) yürüme hızı değiştirilerek tahliye ölçümü yapılmış ve yapının normal tahliye süresi 17 dakika 20 saniye olarak ölçülmüştür. Bu tahliye süresi senaryolar içindeki en iyi tahliye süresidir. Bu durum yürüme hızı ve çıkış sayısının yüksek olmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 4.13. Senaryo 02b'de tahliye başlangıcından 10 dk 24s sonraki durum ve kullanıcıların yürüdükleri yollar

4.3. Bulguların Karşılaştırılması

Bulguların karşılaştırılmasında, ilk olarak gerçek durumda yapılan tahliye gözlemi ile aynı koşullar ile oluşturulan benzetim modelinin kıyaslaması yapılmış ve tahliye süresindeki fark tartışılmıştır. Daha sonra senaryolar oluşturulurken kullanılan üç adet girdilerden ikisi sabit tutulup değişken olan üçüncü girdinin tahliye süresine etkisinin değerlendirilmesi şeklinde yapılmıştır. Yürüme hızı, yapıda kullanılan merdiven ile çıkış sayısı durumlarının tahliye süresine etkileri incelenmiştir.

4.3.1. Gerçek durum ile benzetim modeli karşılaştırılması

Tezin ilk aşaması olan gerçek tahliye gözlemi ile aynı koşullarda oluşturulan tahliye benzetim modelinin sonuçları aşağıdaki çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre gerçek tahliye süresi 16dk, benzetim modelinin tahliye süresi ise 7 dakika 27 saniye olarak ölçülmüştür.

Gözlem ölçümünde seçilen kişinin m255 merdiveninden iniş süresi 88 saniye, benzetim modelinde m255 merdiveninden iniş süresi 103 saniye olarak ölçülmüştür. Benzetim modelinde merdivenden daha uzun sürede inilmiş olmasına rağmen toplam tahliye süresinin daha kısa olması gerçek durumlarda insan davranışının farklılıklar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Gerçek tahliyede acil bir durum olmadığından insanların yavaş hareket ettiği gözlemlenmiştir. Benzetim modelinde ise insan hareketi sabit hız kullanılmış ve yakınlarını bekleme, sohbet etme gibi farklı davranışlar modelde hesaba katılmamıştır. Bu gibi insan davranışlarının tahliye süresini uzattığı söylenebilir.

Çizelge 4.2. Gözlem durumu ile Senaryo 00 karşılaştırması

	Yürüme hızı (m/s)	Kullanıcı Yoğunluğu (kişi)	Yapı Kullanım Durumu	Tahliye Süresi (dk s)	M255 Merdiveni İniş Süresi (s)
Gözlem		1233	Günümüz kullanımı	16 dk	88 s
Senaryo 00	1.19 (varsayılan)	1233	Günümüz kullanımı	7 dk 27 s	103 s

4.3.2. Yürüme hızının tahliye süresine etkisi

Yürüme hızının tahliye süresine etkisini görebilmek için oluşturulan senaryolarda, kullanıcı yoğunluğu ve kullanım durumunun aynı olduğu senaryolar ikili gruplar halinde incelenmiştir.

Senaryo 01a ve senaryo 01b karşılaştırmasında günümüz kullanım durumunda 5882 kişi ile oluşturulan tahliye modellerinde yürüme hızları sırası ile 1.19 m/s ve 1.38 m/s olarak alınmıştır. Yürüme hızının daha hızlı olduğu senaryo 01b'de tahliye 22 dakika 14 saniye sürmüş ve senaryo 01a'ya göre 6 dakika 23 saniye daha kısa sürmüştür.

Senaryo 02a ve senaryo 02b karşılaştırmasında da yapının orijinal kullanım durumunda 5882 kişi ile oluşturulan tahliye modelinde yürüme hızları yine varsayılan hız olan 1.19 m/s ve 1.38 m/s olarak kabul edilmiştir. Bu iki senaryoda da yürüme hızının yüksek olduğu senaryo 02b'de tahliye süresi 2 dakika 6 saniye farkla senaryo 02a'dan daha kısa sürmüştür. Çizelge 4.3'te senaryoların yürüme hızları ve tahliye süreleri görülmektedir.

Çizelge 4.3. Yürüme hızının değişken olduğu senaryolar

	Yürüme hızı (m/s)	Kullanıcı Yoğunluğu (kişi)	Yapı kullanım durumu	Tahliye Süresi (dk s)
Senaryo 1a	1.19 (varsayılan)	5882	Günümüz kullanımı	28 dk 37 s
Senaryo 1b	1.38	5882	Günümüz kullanımı	22 dk 14 s
Senaryo 2a	1.19 (varsayılan)	5882	Orijinal kullanım	19 dk 26 s
Senaryo 2b	1.38	5882	Orijinal kullanım	17 dk 20 s

Senaryoların sonuçlarına bakıldığında yürüme hızı ile tahliye süresi arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Yürüme hızı arttıkça tahliye süresi kısalır. Patfinder benzetim programının varsayılan yürüme hızı 1.19 m/s Fruin'in 1987 yılında yaptığı çalışmasında elde ettiği sonuçlara göre kabul edilmiştir. Bu hız toplanma amaçlı yapılar için yeterli bir yürüme hızı değildir. Çünkü kullanıcıların hızlarının yapıların kullanma amaçlarına, büyüklüklerine, kullanıcı yoğunluğuna, kullanıcıların fiziksel koşulları ve motivasyonlarına göre değiştiği bilinmektedir.

4.3.3. Yapıda kullanılan merdiven ve çıkış kapılarının tahliye süresine etkisi

Yapının merdiven ve kapılarının kullanımı yapıldığı dönemden günümüze kadar değişkenlik göstermiştir. Günümüze ulaşamayan merdivenler ve kullanımı mümkün olmayan kapılar ile güvenlik sebebi ile kapalı tutulan kapılar bu değişikliklerdendir. Yapının yapıldığı dönemde insanların tahliyesinin tasarım yapılırken hesaba katıldığı, Vitrivius'un kitabındaki tiyatro bölümünde görülmektedir. Bu nedenle günümüzdeki kullanım ile orijinal kullanım arasındaki farkı görebilmek amacıyla senaryo 01a ile senaryo 02a, senaryo 01b ile senaryo 02b karşılaştırması yapılmıştır.

Senaryo 01a ve senaryo 02a'ya bakıldığında 1.19 yürüme hızında 5882 kişinin sırası ile 28 dakika 37 saniye ve 19 dakika 26 saniyede yapıyı boşalttığı görülmektedir. Orijinal kullanımın benzetimi olan senaryo 02a'da 9 dakika 11 saniye daha kısa sürede tahliye gerçekleşmiştir.

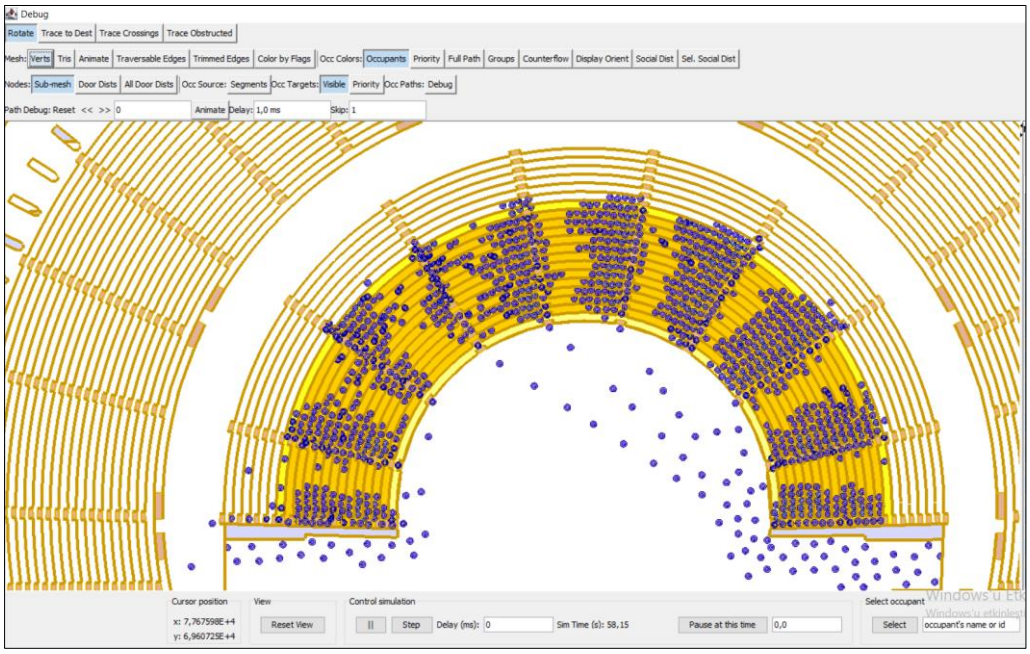
Senaryo 01b ve senaryo 02b'de de aynı şekilde orijinal kullanımda tahliyenin

tamamlanması daha kısa sürmüştür. Çizelge 4.4'te kullanım durumunun değişken olduğu senaryolar ve sonuçları görülmektedir. Kullanılan çıkış sayısının artmış olması tahliyenin orijinal durumda daha kısa sürmesinin sebebidir. Orijinal durumdaki tahliyenin günümüze göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

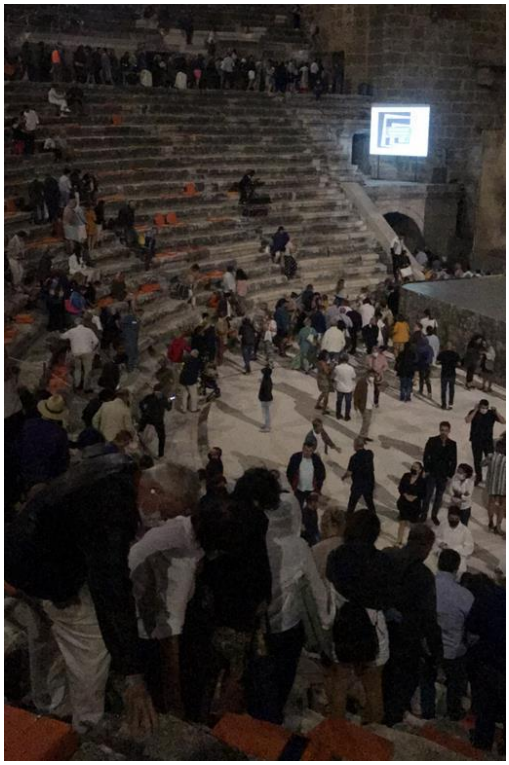
Çizelge 4.4. Yapı kullanım durumunun değişken olduğu senaryolar

	Yürüme hızı (m/s)	Kullanıcı Yoğunluğu (kişi)	Yapı kullanım durumu	Tahliye Süresi (dk s)
Senaryo 1a	1.19 (varsayılan)	5882	Günümüz kullanımı	28 dk 37 s
Senaryo 2a	1.19 (varsayılan)	5882	Orijinal tasarım	19 dk 26 s
Senaryo 1b	1.38	5882	Günümüz kullanımı	22 dk 14 s
Senaryo 2b	1.38	5882	Orijinal tasarım	17 dk 20 s

Senaryo sonuçlarına göre yapının tahliyesinde en etkili etmenin merdivenler olduğu görülmektedir. Benzetim modellerinde bir tıkanıklık görülmemiştir fakat seyirci merdivenleri ve sahne binası merdivenlerinde kuyruk oluşumu görülmüştür. Tahliyenin süresinin uzaması da bu merdivenlerdeki kuyruk oluşumundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.14. Oturma yeri merdivenlerinde sıra oluşumunun benzetim modelindeki görüntüsü



Resim 4.3. Konser sonrası oturma yeri merdivenlerinde sıra oluşumu

5. VARGI

Yapıların güvenli olup olmadığının önemli ölçütlerinden biri güvenli tahliyenin sağlanabilmesidir. Antik tiyatro gibi tarihi miras değeri olan ve kullanıcı yoğunluğu yüksek olan yapılarda tahliye güvenliği önemli olmakla birlikte modern standartlar sağlanamayabilir. Bu çalışmada Roma Dönemi antik tiyatrosu olan ve Antalya ili Serik İlçesinde bulunan Aspendos Tiyatrosu'nun normal tahliye analizi yapılmıştır.

Normal tahliye, acil durum tahliyesinden farklı olarak panik davranışı, duman salınımı gibi acil durumları hesaba katmadan binanın sadece kullanıcılar tarafından boşaltılma durumunu inceler. Bu yapının seçilmesindeki motivasyon, yapının yapıldığı dönem olan M.S. 2. yüzyıldan günümüze kadar aktif olarak kullanılmasıdır. Yapıda her sene eylül ayında geleneksel opera ve tiyatro festivali kapsamında konser etkinlikleri düzenlenmektedir. Ayrıca yazın taraması sırasında antik tiyatrolar ile ilgili yapılmış bir tahliye çalışmasına rastlanamamıştır. Bu nedenle de yapılan çalışma ile bu alana katkı sunulması amaçlanmıştır.

Tezin kapsamında cevabı aranan temel soru Aspendos Antik Tiyatrosu'nun tahliye süresinin ne olduğudur. Bu soru, kullanıcı sayısı, yürüme hızı ve yapının orijinal tasarımı ve günümüzdeki kullanım durumları gibi etmenlerin değişim durumuna göre çeşitlendirilerek önce gözlem yapılmış sonrasında senaryolar oluşturulmuş ve incelenmiştir.

Bu araştırmada öncelikle tiyatronun güncel kullanımında gözlemsel incelemede bulunulmuş sonrasında ise bilgisayar destekli benzetim çalışması ile tahliye etkinliği incelenmiştir. Gözlemsel tahliye ölçümü 23 Eylül 2021 tarihinde yapılan T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Devlet Opera ve Balesi Genel Müdürlüğü'nün düzenlediği Gala Konser etkinliği sonrasında yapılmış ve 1233 kişinin etkinlik sonrasında tahliye süreci gözlenmiştir. Sonraki aşamada ilgili yapının bilgisayar destekli özne tabanlı (agent-based) benzetim modeli akademik çalışmalarda kullanılan kapalı kaynak ticari bir yazılım olan Pathfinder 2022 programı ile oluşturulmuş ve 5 farklı senaryoda model çalıştırılarak bulgular değerlendirilmiştir.

Gözlemsel incelemede 1233 kişinin tahliye süresi 16 dakika 00 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı kişi sayısı senaryo 00'da benzetim modeli ile denenmiş ve varsayılan değer olan 1.19 m/s. yürüme hızı kullanıldığında benzetim tahliye süresi 7 dakika 27 saniye olarak ölçülmüştür. Sonrasında, NFPA 101 ve Türkiye Yangın Yönetmeliğinde belirtilen standartlar dikkate alınarak binaya ait tam kullanıcı yükü hesap edilmiştir. Elde edilen kullanıcı yükü olan 5882 kişi ile iki yürüme hızına bağlı (1,19 m/s. ve 1,38m/s) ve binanın günümüzde kullanılan çıkış noktaları ile orijinal tasarımında bulunan çıkış noktaları dikkate alınarak 4 adet senaryo belirlenmiştir. Buna göre tahliye süresi senaryo 01a'da 28 dakika 37 saniye, Senaryo 01b'de 22 dakika 14 saniye, senaryo 02a'da 19 dakika 26 saniye ve senaryo 02b'de 17 dakika 20 saniye olarak ölçülmüştür. Bu tahliye süreleri literatürde benzer kullanımlı toplanma yapıları için belirlenmiş olan 2.5dk-8dk aralığından oldukça uzun çıkmaktadır.

Senaryoların kurgulandığı üç girdinin tahliye süresine etkileri incelenmiştir. Yürüme hızı ve çıkış kapısı sayısının artması tahliye süresini azaltmaktadır. Fakat bu girdilerden çıkış kapısını arttırmak tarihi miras değeri olan yapıya müdahale edilemediğinden uygulanabilir değildir. Fakat mevcut durumda kullanılmayan ama kullanıma açılabilir kapılar vardır. Bu kapılar acil durumlarda kullanıma açılabilir. Ayrıca insan davranışı gereği olarak bildiği yolu kullanma eğilimi vardır. Yapıya girişlerin tek kapıdan yapılması da tahliyeyi olumsuz etkiler. Çıkış sayısı ne kadar fazla olursa olsun insan girdiği ve bildiği yolu tercih etmektedir. Bu nedenle giriş sayısını da tek kapıyla sınırlandırmamak tahliye süresini kısaltmak için bir çözümdür. Yürüme hızını arttırmak ise insan davranışına ve yapının fiziksel koşullarına bağlıdır. Yapının merdiven eğimi ortalama 35 derece gibi bir değerde olduğundan yürüme hızı azalmaktadır. Kullanıcı sayısı ise tahliye süresi ile ters orantılıdır. Tahliye süresini azaltmak için kullanıcı sayısını azaltmak gerekir.

Aktif olarak kültürel faaliyetlerde kullanılan bu ve benzeri yapılarda emniyetli kullanım açısından yapılacak etkinliklere kullanıcı yükü sınırlamasına gidilmesi tavsiye edilmiştir. Antik tiyatroların tahliyesi ile ilgili literatürde yapılmış çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma ile ilgili alana katkı sunulmaktadır.

Tahliye Güvenliğine İlişkin Çıkarımlar

Yapılan analiz sonucunda güvenli tahliyenin sağlanması için alınabilecek önlemler

aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır.

Tarihi yapılarda kullanıcı sayısının kısıtlanması (pasif sistem)

Tarihi yapılarda tahliye güvenliğinin sağlanabilmesi için yapıya müdahale etmeden alınacak önlemler kısıtlıdır. Merdiven, çıkış kapıları gibi tahliyeyi etkileyen yapı elemanlarına fiziksel değişiklikler yapmak yapının tarihi eser özelliğinden dolayı orijinalliğini bozmamak için mümkün olmamaktadır. Fakat Aspendos Antik Tiyatrosu gibi yapıların günümüzde çok sayıda insan tarafından kullanılan yapılarda insanların güvenliği önem sıralamasında ilk sıradadır. İnsanların güvenliğinin sağlanabilmesi için alınabilecek önlemlerden biri kullanıcı sayısının kısıtlanmasıdır. Kullanıcı sayısı kısıtlandığında yapının fiziksel özelliklerinden dolayı oluşan olumsuz etkilerin daha az kişiyi etkilemesi ve tahliye süresinin azalması sağlanabilir.

Kullanıcı sayısının etkisinin görülebildiği senaryolar senaryo 00 ve senaryo 01a'dır. Bu iki senaryoda yürüme hızı ve yapının kullanım durumu aynı alınmış, kullanıcı yoğunluğu ise değiştirilmiştir. Beklenildiği gibi kullanıcı yoğunluğunun düşük olduğu senaryo 00'da tahliye süresi daha kısa sürmüştür.

Merdiven iniş hızını arttırmaya yönelik çalışmalar (pasif sistem)

Tahliye analizinde yapılan gözlemsel ölçüm ve benzetim modeli senaryolarının ortak noktası kullanıcıların merdivenlerden inerken kuyruk oluşturmasıdır. Oturma yeri merdivenlerinin açısı standart ölçülere göre daha dik olduğundan insanların hareketini yavaşlatmaktadır. Ayrıca merdivenlerde korkuluk ve küpeşte gibi elemanların bulunmaması insanlarda tedirginlik yarattığından merdiven iniş hızı azalmaktadır. Yapının orijinaline zarar vermeyecek, kalabalık etkinliklerde kullanılabilecek geçici kullanımlı korkuluk ve küpeşteler ile merdivenlerde yürüme hızı arttırılabilir.

Yapıdan çıkışlarda tek yolun merdiven olması sebebi ile merdivenlerde eş zamanlı kullanımdan kaynaklanan kuyruklar meydana gelmektedir. Kuyruk oluşumunun önüne geçmek için kademeli tahliye yapılabilir. Oturma yerlerinde bulunan kişilerin belirlenen tahliye planındaki sıra ile yapıyı boşaltması ve görevli personelin tahliye sırasında ya da etkinlik öncesinde kullanıcıları güvenli tahliye planına göre doğru merdivenlere

yönlendirmesi sağlanabilir.

Orijinal tasarımdaki çıkışların kullanıma açılması (pasif sistem)

Yapıdan çıkış için kullanılan dört adet çıkış kapısı mevcuttur. Yapının orijinal tasarımında ise 15 adet çıkış kapısı bulunmaktadır. Tahliye analizinde bu kapıların da kullanımda olduğu senaryolar ile kullanılmadığı senaryolar incelendiğinde kapıların kullanılmasının tahliye süresini kısalttığı görülmektedir. Bu kapılardan kullanıma açılabilecek olanların olası acil durumlarda tahliye sürecine dahil edilmesi ile güvenli tahliyenin yapılabilme ihtimali artabilir.

İnsan davranışı bağlamında giriş kapılarının çeşitlendirilmesi (pasif sistem)

Konser gözlemi sırasında etkinlik öncesi bilet kontrolü sebebi ile yapıya girişlerin tek kapıdan yapıldığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak da insanların bildiği yolu kullanma davranışından dolayı tahliye sırasında aynı kapıda yoğunluk yaşanmıştır. Tarihi yapılar insanların aşina olmadığı yapılar olduğundan daha önce deneyimledikleri giriş yolundan çıkış yapmak isteyebilirler. Çıkışlarda tek kapıda yoğunluk yaşanmasının önüne geçebilmek için girişlerin farklı kapılardan yapılması önerilebilir.

Akıllı yönlendirme ve seslendirme sistemlerinin kullanılması (aktif sistem**)**

Tahliye sürecinde önemli etkisi bulunan hareket öncesi süreçte insan davranışının etkisi büyüktür. İnsan davranışı bağlamında karar verme ve yön bulma aşamaları nedeniyle hareket öncesi süreç uzayabilir ya da sürü davranışından dolayı insanlar aynı rotayı izleyebilirler bu da tıkanıklığa sebep olur. Bu durumların yaşanmaması için kalabalık tahliyesinde ve acil durum tahliyesinde kullanılabilecek akıllı tahliye yönlendirme sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler sensörler ile çalışan tahliye modeli ve karar destek sistemleridir. Akıllı tahliye yönlendirme sistemleri ile kullanıcılara şu anda nerede bulundukları ve en yakın çıkışın nerede olduğu hakkında bilgilendirme yapılabilir. Bu sistemler ile acil bir durum ya da olumsuzluk yaşanması durumunda eş zamanlı olarak insanların yönlendirilmesi değiştirilebilir.

5.1. Çalışmanın Kısıtlaması

Yapının rölöve çizimi proje çizimini yapan firmadan temin edilmiştir. Yapının modeli oluşturulurken, yapıdaki bozulmalar, ölçü farkları sadeleştirilerek ortalama değerler kabul edilmiştir. Kullanılabilir ve kullanılamayan yapı elemanları çizimler üzerinde ve yapıya gidilerek yerinde tespit edilmiştir.

Çalışmada tahliye senaryolarının ölçümü için Pathfinder benzetim programı kullanılmıştır. Pathfinder programında merdiven hızı değiştirilememektedir. Gerçekteki merdiven iniş hızı senaryo 00'da gösterilmiştir. Bu ise programın otomatik olarak kullandığı hızdan fazladır. Buna rağmen çıkış süreleri gerçek durumdan hızlı olmuştur.

Modelleme yapılırken hareket kısıtlaması ya da herhangi bir engeli olan kullanıcılar modele dahil edilmemiştir. Kullanıcıların varsayılan yaş, cinsiyet, davranış şekilleri ve boyutlarında değişiklik yapılmamıştır. Yalnızca senaryolara göre ortalama hızlar değiştirilmiştir.

Çalışma, yangın, patlama gibi acil durumlar için değil normal durumlardaki tahliye süresini hesap etmek amacıyla yapılmıştır. Yapı içindeki ve dışındaki olumsuz durumların kullanıcılar üzerindeki etkisi çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu nedenle çalışmada kullanıcıların panik davranışının tahliyeye etkisi ve ön tahliye süresi ölçümleri yapılmamıştır.

5.2. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar

Mevcut yapıda merdiven kenarlarında küpeşte yoktur ve merdivenler günümüzde standart merdiven ölçülerine göre diktir. Bu nedenle çalışılan yapıda merdivendeki yürüme hızı olması gerekenden düşük olduğu ve tahliye sırasında kuyruk oluştuğu görülmüştür. İleride yapılacak çalışmalarda küpeşte kullanımı gibi destekleyici elemanların merdiven iniş hızına etkisi incelenebilir.

Merdiven eğiminin yürüme hızına olumsuz etkisi görülmüştür. Tiyatro, spor tesisi gibi seyirci bölümü olan yapılarda seyirci koltukları arasındaki merdivenlerin tahliyeye etkisinin ölçülmesi için kapsamlı çalışmalar yapılabilir. Bu yapılarda eğimi azaltmak ise

görüş açısını azaltabilir. Gelecek çalışmalarda yapının merdiven ve oturma yeri eğiminin yürüme hızı ve görüş açısı parametrelerine göre en iyi değerini bulmak amacıyla çalışmalar yapılabilir.

Çalışmada yapının normal tahliyesi ölçülmüştür. Yapı kültürel etkinliklerde kalabalık seyirci sayıları ile etkin olarak kullanılan bir yapıdır. Oluşabilecek bir acil duruma önlem alınabilmesi için acil durum tahliye çalışması ve tatbikatlar yapılabilir. Acil durumlarda uygulanması için yönlendirme ve eylem planı hazırlanabilir.

Tarihi yapılarda tahliye çalışmaları oldukça yetersizdir. Bu yapılarda en az mimari müdahale ile etkin tahliyenin sağlanabilmesi için bu yapılara özel olarak tahliye kuralları geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Aktüre Şıram, Z. (2005). *Yunanistan'daki antik tiyatrolarda yapı-mekân-zaman ilişkisi üzerine bir deneme. Özgenel, L (der.) Eski Çağ'ın Mekânları, Zamanları, İnsanları.* ODTÜ Yüksek Lisans ve Doktora Programı, Doktora Araştırmaları Sempozyumu III., Ankara, 168-90.

Akyüz, E. (1993). Ege'de Tiyatro. *Ege Mimarlık,* 4, 26-32.

Alginahi, Y. M., Mudassar, M., Kabir, M. N., & Tayan, O. (2019). Analyzing the Crowd Evacuation Pattern of a Large Densely Populated Building. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(4), 3289-3304.

Alp, N. Ç. (2011). *Binalarda Kullanıcıların Acil Durum Davranışının Ve Hareketinin Etmen Tabanlı Bir Model İle Temsili Ve Benzetimi*. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altunbeğ Turgut, C. (2019). Roma Dönemi Şehircilik Anlayışı, *Çanakkale Araştırmaları Türk Yıllığı*, 17(26), 273-302.

Bernardini, G., Azzolini, M., D'Orazio, M., & Quagliarini, E. (2016). Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical theatres without altering their architectural characteristics. *Journal of Cultural Heritage*, 22, 1006-1018.

Boz, B. (2006). *Structural Analysis of Historic Aspendos Theatre*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Cao, Y., Luo, C., Liu, Y., Teng, S., & Xin, G. (2021). Path intelligent optimization for dense crowd emergency evacuation in heritage buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 47, 180-187.

Carattin, E., & Brannigan, V. (2012). *Controlled evacuatıon ın hıstorıcal and cultural structures: requırements, lımıtatıons and the potentıal for evacuatıon models*. 5th International Symposium on Human Behavior in Fire, London, 447-459.

Daamen, W., Hoogendoorn, S. P., & Bovy, P. H. L. (2005). First-Order Pedestrian Traffic Flow Theory. *Transportation Research Record*, 1934(1), 43-52.

Dang, P., Zhu, J., Pirasteh, S., Li, W., You, J., Xu, B., & Liang, C. (2021). A chain navigation grid based on cellular automata for large-scale crowd evacuation in virtual reality. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102507.

Dilmen, H. (2004). *Aspendos antik tiyatrosunun mimari ve akustik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

D'Orazio, M., Bernardini, G., Tacconi, S., Arteconi, V., & Quagliarini, E. (2016). Fire safety in Italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants' evacuation with no architecture modifications. *Journal of Cultural Heritage*, 19, 492-501.

Fujiyama, T., & Tyler, N. (2004). *An explicit study on walking speeds of pedestrians on stairs*. 10th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People, 23-26 May 2004, Hamamatsu, Japan.

Gabellone, F., Ferrari, I., & Giuri, F. (2017). *A new contribution for the reconstructive study of the theatre of Taormina.* IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage. 601-606.

Galea, E. R., Deere, S. J., Hopkin, C. G., & Xie, H. (2017). Evacuation response behaviour of occupants in a large theatre during a live performance. *Fire and Materials*, 41(5), 467-492.

Gales, J., Champagne, R., Harun, G., Carton, H., & Kinsey, M. (2022). *Fire Evacuation and Exit Design in Heritage Cultural Centres.* (1. Baskı) Singapur: Springer Nature, 41-53.

Graat, E., Midden, C., & Bockholts, P. (1999). Complex evacuation; effects of motivation level and slope of stairs on emergency egress time in a sports stadium. *Safety Science*, 31(2), 127-141.

Gravit, M., Kirik, E., Savchenko, E., & Vitova, T. (2020). Effect of Design on the Evacuation Time for Large Arenas of Different Epochs (Sy 2020120572). Preprints.

Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in evacuation modelling. *Fire and Materials*, 23(6), 383-388.

Gwynne, S., & Rosenbaum, E. R. (2016). Employing the hydraulic model in assessing emergency movement. In *SFPE handbook of fire protection engineering* (pp. 2115-2151). Springer, New York, NY.

Haghani, M., & Sarvi, M. (2017). Stated and revealed exit choices of pedestrian crowd evacuees. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 238-259.

İnternet: Banfi, A. (2010). Elenco degli edifici teatrali greci e romani in uso in Italia, *La Rivista di Engramma*, 77-81. Web: http://www.engramma.it/eOS/index.php?id_articolo=1791 Son Erişim Tarihi: 20.05.2022

İnternet: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. (2007, 27 Kasım). Resmî Gazete (Sayı: 12937). Web: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/12/20071219-2.htm Son Erişim Tarihi: 15.09.2022

İnternet: Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022, 25 Mart). amphitheatre. *Encyclopedia Britannica*. Web:https://www.britannica.com/technology/amphitheater Son Erişim Tarihi: 17.10.2022

İnternet: Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022) Bouleuterion, Greek architecture, *Encyclopedia Britannica*. Web: https://www.britannica.com/topic/Bouleuterion Son Erişim Tarihi:17.10.2022

İnternet: Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022). Hippodrome, architecture, *Encyclopedia Britannica*. Web: https://www.britannica.com/technology/hippodrome-architecture Son Erişim Tarihi:17.10.2022

İnternet: Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022). Odeum, theatre, *Encyclopedia Britannica*. Web: https://www.britannica.com/art/odeum Son Erişim Tarihi:17 Ekim 2022

İnternet: Fruin, J. J. (1970). Designing for Pedestrians a Level of Service Concept. Web: https://www.proquest.com/docview/302519371/citation/101DB79BB6044493PQ/1 Son Erişim Tarihi: 12.09.2022

İnternet: Hines, T. (2020) Greek- Roman Theatre Glossary Ancient Theatre Archive Project, *Department of Theatre, Whitman College* (https://www.whitman.edu/theatre/theatretour/glossary/glossary.html) Son Erişim Tarihi: 24.05.2021

İnternet: Pedersoli, A. ve Paronuzzi, M. (2010). Teatri greci e romani censiti, *La Rivista di Engramma,* 77-81. Web:http://www.engramma.it/eOS/index.php?id_articolo=385#Turchia Son Erişim Tarihi: 20.05.2022

İnternet: Lambrinoudakis, V. (2019). *Ancient Greek Theatres in Modern Use*. Greek & Roman Theatres in Mediterranean Area International Seminar, Venezia, 1-6.

Kaya, M. A. (2005). Anadolu'da Roma Eyaletleri; Sınırlar ve Roma Yönetimi. *Tarih Araştırmaları Dergisi*, 24(38), 11-30.

Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1-11.

Kuligowski, E. D. (2016). Human Behavior in Fire. Içinde M. J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, J. Torero, J. M. Watts, & C. Wieczorek (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Springer, 2070-2114.

Kuligowski, E. D., Gwynne, S. M. V., Kinsey, M. J., & Hulse, L. (2017). Guidance for the Model User on Representing Human Behavior in Egress Models. *Fire Technology*, 53(2), 649-672.

Kuligowski, E. D., Peacock, R. D., Reneke, P. K., Weiss, E., Hagwood, C. R., Overholt, K. J., Elkin, R. P., Averill, J. D., Ronchi, E., Hoskins, B. L., & Spearpoint, M. (2014). Movement on Stairs During Building Evacuations (NIST TN 1839; s. NIST TN 1839). *National Institute of Standards and Technology*.

Minegishi, Y., & Takeichi, N. (2018). Design guidelines for crowd evacuation in a stadium for controlling evacuee accumulation and sequencing. *Japan Archıtectural Revıew*, 1(4), 471-485.

National Fire Protection Association. (2021). Life Safety Code. *NFPA 101*. U.S.A, 52-92.

Ng, C., & Chow, W. K. (2006). A brief review on the time line concept in evacuation. *Architectural Science*, 7.

Özdilek, B. (2016). Lykıa Tiyatrolarına Genel Bakış. *Cedrus*, 4, 139-185.

Pereira, G. (2007). *Antik tiyatroların opera ve bale gösterileri için kullanımında sahne tasarımı problemleri ve Aspendos örneği.* Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İzmir.

Rahman, K., Ghani, N., Kâmil, A., & Mustafa, A. (2012). Analysis of Pedestrian Free Flow Speed in a Least Developing Country: A Factorial Design Study. Research *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4, 4299-4304.

Rahouti, A., Lovreglio, R., Dias, C., Kuligowski, E., Gai, G., & La Mendola, S. (2021). Investigating office buildings evacuations using unannounced fire drills: The case study of CERN, Switzerland. *Fire Safety Journal*, 125, 103403.

Sato, S. I., Sakai, H., & Prodi, N. (2002,). Acoustical measurements in ancient Greek and Roman theatres. *Forum Acustıcum Sevılla.*

Sear, F. (1983). *Roman Architecture*. New York: Cornell University Press, 21-66.

Tavares, R. M. (2009). Evacuation Processes Versus Evacuation Models: “Quo Vadimus”? *Fire Technology*, 45(4), 419-430.

Iannace, G., & Trematerra, A. (2018). The acoustic effects of the audience in the modern use the of ancient theatres. *Jurnal Teknologi*, 80(4).

İnternet: Thunderhead Engineering. (2022). Pathfinder Features, Web: https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/features Son Erişim Tarihi: 18.10.2022

İnternet: Thunderhead Engineering. (2021). Pathfinder—User Manual. Web: https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020-3/user-manual/ Son Erişim Tarihi: 18.10. 2022

İnternet: Thunderhead Engineering. (2022). Pathfinder Technical Reference Manual. Thunderhead Support. Web: https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2022-2/technical-reference-manual/ Son Erişim Tarihi: 18 Ekim 2022

Vitrivius. (1998). *Mimarlık üzerine on kitap* (çev. S. Güven). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı, 102-113.

Wagner, N., & Agrawal, V. (2014). An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2807-2815.

Watts, J. M., & Solomon, R. E. (2002). Fire Safety Code for Historic Structures. *Fire Technology*, 38, 301–310

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



Gazili olmak ayrıcalıktır