



**IMMC 2021 TÜRKİYE ELEME SINAVI PROBLEMİ**  
**İSTANBUL SAPPHIRE ACİL DURUM TAHLİYE PROBLEMİNE**  
**BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ**

**Aslı DEMİR**

**Selin YAMAN**

**Yusuf Kağan ÇİÇEKDAĞ**

**Ahmet Özkan CANBULAT**

**Danışman: Tuğba COŞKUN**

**İZMİR - 2020**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	3
GİRİŞ.....	4
VERİLER .....	5
VARSAYIMLAR.....	5
YÖNTEM.....	7
TAHLİYE MODELİ .....	7
A) ACİL ÇIKIŞ MERDİVENLERİNE KADAR TAHLİYE MODELİ .....	7
Katlardaki Tahliye Süresinin Hesaplanması: .....	7
B) MERDİVENLERDEKİ TAHLİYE SÜRESİ: .....	11
MODELİN UYGULANMASI .....	13
Oluşturulan algoritmalar Python diliyle kodlanmış ve çıktılar eklenmiştir. ....	13
1)Herhangi bir tehlike durumu olmadan tatbikat şeklinde tahliye süresinin hesaplanması: .....	13
2)Yangın veya bomba ihbarı olması durumunda tahliye süresinin hesaplanması : .....	13
MODELİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YANLARI.....	14
SONUÇ VE TARTIŞMA.....	15
ÖNERİLER .....	15
TEŞEKKÜR .....	15
KAYNAKÇA .....	15
EKLER .....	16
Python Kodları : .....	17

## ÖZET

Yüksek katlı binalarda insan tahliye süresinin hesaplanması, çok değişkenli bir yöneylem araştırma problemidir. 5243 sayılı “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” gereğince binalar yangına karşı oldukça dayanıklı inşa edilmektedir. Binalarda mevcut olan “Sprinkler Sistemi” de hem yangını söndürmede hem de yangın kaynaklı daha büyük bir problem olan dumanı baskılamaktadır. Terör saldırıları gibi beklenmeyen durumlar için tahliye planı olması ve tahmini sürenin hesaplanması, gerekli önlemlerin zamanında alınması açısından elzemdir. Gelişmiş ülkeler yangın tahliye süreçlerinin modellenmesine önem vermektedir ve literatür taraması sırasında konuyla ilgili detaylı çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, bize verilen problem doğrultusunda, AVM ve konutlardan oluşan İstanbul Sapphire’de olası bir tehlike durumunda binanın tahliye süresini hesaplayan matematiksel bir model oluşturmaktır.

Çalışmamızda acil durum tahliye modellerinden matematiksel analiz yöntemi kullanılmıştır. Matematiksel modellemeye dayanan matematiksel analiz yönteminde, tahliye edilen kişilerin birbirleriyle etkileşimleri ve bireysel özellikleri dikkate alınmayıp yayaların bir bütün olarak incelendiği makroskobik model tercih edilmiştir.

Modeli test etmek için üç farklı senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryoda, Fermi tahmin yöntemiyle hesaplanan kişi sayıları kullanılarak tatbikat şeklindeki tahliyenin süresi 27 dk 28 sn olarak hesaplanmıştır. İkinci senaryoda, olası bir tehlike durumunda bir merdivenin tüm katlarda iptal edilmesiyle tahliye süresi 40 dk 26 sn olarak hesaplanmıştır. Üçüncü senaryoda, yangının 15. katta (örnek olarak) çıkması durumunda yalnızca o katta tek acil çıkış merdiveni kullanılacak şekilde tahliye süresi 31 dk 13 sn olarak hesaplanmıştır.

Bulunan bu sonuçlar literatürde incelediğimiz benzer çalışmalarda alınan sonuçlara yakındır. Bu da modelin güvenilirliğinin ve geçerliliğinin bir kanıtıdır.

Ortak katlarda ve konut katlarında tahliye esnasında bulunacak kullanıcı sayıları, tehlikenin hangi katta olduğu, programı kullanan kişi tarafından girilmektedir. Üç senaryo da farklı değerlerle hesaplanabilir.

## GİRİŞ

Yangın güvenliği açısından kaçış yolu ve rotası, önemli pasif yangın güvenlik önlemleri içinde yer almaktadır. Kaçış yolu ve rotasının karakteri, boşaltım süresini dolaylı olarak etkilemektedir. Çoğu yangın yönetmeliğinde yer alan bu konu ile ilgili kural ve prensipler, yangında boşaltım süresini minimize etmeyi ve can kaybını önlemeyi amaçlamaktadır. Ancak boşaltım süresinin hassas olarak belirlenmesi, insan psikolojisinin ve yangın çevresel koşullarının kontrol ettiği mekanizmaları içerdiğinden oldukça güçtür. Yönetmeliklerde, boşaltım süresinin tahmini ile ilgili bir takım ampirik bağıntılar mevcuttur. Tarifsel (descriptive) yönetmeliklerin performans tabanlı (performance based) yönetmeliklere dönüşüm süreci dahilinde, doğru sonuçlar vermediği bilinen bu bağıntılar yavaş yavaş terk edilmektedir. Performansa dayalı yangın yönetmeliği konsepti geliştikçe bilimsel tabana oturan yangın güvenlik analizleri de önem kazanmaktadır. Bu çerçevede bilimsel tabanlı bir boşaltım analizinin uygulanma adımlarının ve bu sistematik içinde karşılaşılan problemlere yaklaşım açısının ortaya konması gereklidir [14].

Çalışmamızda acil durum tahliye modellerinden matematiksel analiz yöntemi kullanılmıştır. Matematiksel modellemeye dayanan matematiksel analiz yönteminde, tahliye edilen kişilerin birbirleriyle etkileşimleri ve bireysel [1] özellikleri dikkate alınmayıp yayaların bir bütün olarak incelendiği makroskobik model [4] tercih edilmiştir.

Literatür taraması yapılırken acil durum tahliyelerinde Simulex, Exodus, Pathfinder gibi hazır simülasyon programları kullanıldığı öğrenilmiştir. Fakat bu programlar kullanıldığında ortaya özgün bir model konulmamış olacağı için tercih edilmemiştir.

En kısa yol algoritmaları karşılaştırılmış ve bilimsel makalelerde birden fazla çıkışlı binalarda acil durum tahliyelerinde “Dijkstra Algoritması”nın sıkça kullanıldığı görülmüştür. [13] Ancak Sapphire kat planları incelendiğinde, katlar simetrik şekilde yapıldığından her kullanıcının gideceği çıkışın (izleyeceği yolun) net olduğu fark edilmiş ve bu nedenle hem Dijkstra Algoritması hem de Voronoi yöntemi kullanılmamıştır.

**Tablo 1.** Değişkenler Tablosu

<b>Katlar ve Kat Tahliyesi ile İlgili Değişkenler</b>	
L	Kattaki en yakın kişinin kapıya uzaklığı (metre)
w	Çıkış kapısı genişliği (metre)
c	Kapının kapasitesi (kişi/saniye)
$v_{ort}$	Bir kişinin ortalama hızı (metre/saniye)
x	Kapıya en uzak kişinin çıkışa uzaklığı (metre)
f	Tahliye Sırasında Kişi Başına Düşen Alan ( $metre^2/kişi$ )
$T_{ortak}$	Ziyaretçi Sayısı Çok Olan Katlarda Toplam Tahliye Süresi (saniye)
$T_0$	Kullanıcıların alarmı duyduktan sonra harekete geçme süresi (saniye)
$T_1$	Çıkış Kapısının Önüne Toplanma Süresi (saniye)
$T_2$	Yol Bulma Süresi (saniye)
$T_3$	Çıkıştan Geçme Süresi (saniye)
$T_{konut}$	Ziyaretçi Sayısı Az Olan Katlarda Tahliye Süresi (saniye)
$N_{kat}$	Konut Katlarındaki Kat Başına Kullanıcı sayısı
$N_{ortak}$	Ziyaretçi Sayısı Çok Olan Katlardaki Kullanıcı Sayısı
<b>Merdiven Uzunluğu ve Merdiven Tahliye Süresi ile İlgili Değişkenler</b>	
n	Merdivenin basamak sayısı

d	Merdivenin basamağının eni (cm)
h	Merdivenin basamağının yüksekliği (cm)
b	Merdivenin basamağının uzunluğu (cm)
L <sub>Mer</sub>	Merdivenlerdeki seyahat uzunluğu (metre)
L <sub>Sah</sub>	Merdiven sahanlığı uzunluğu (metre)
L <sub>Yol</sub>	Bir kat için merdivenlerdeki toplam seyahat uzunluğu (metre)
k	Bulunulan Kat sayısı
g	Ardışık Tahliyeler Arası Gecikme Süresi

## VERİLER

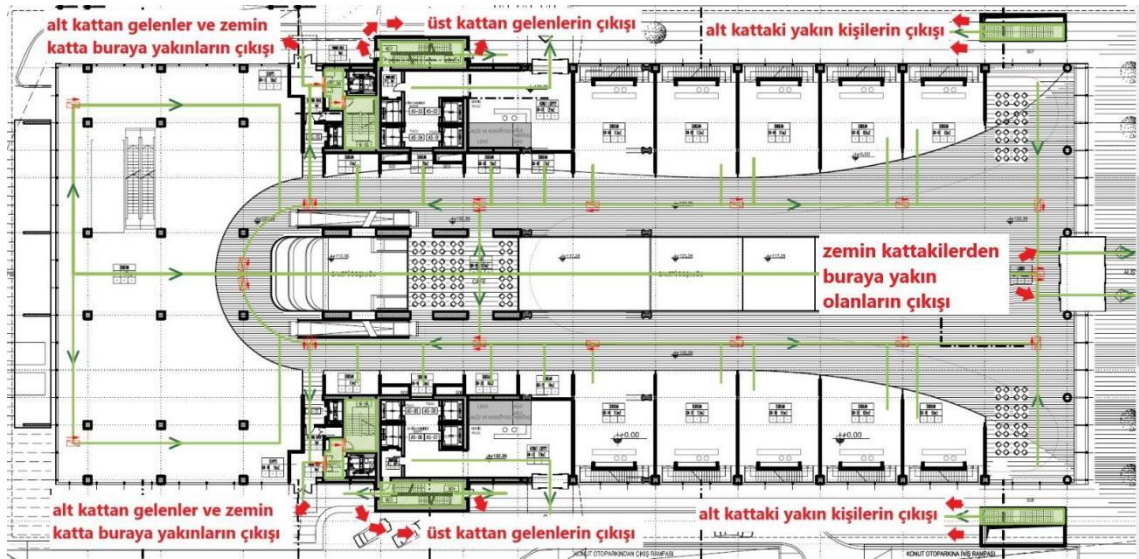
1. Bina, zemin üstü 56 olmak üzere toplam 66 kattır.
2. Binanın en üst katında seyir terası vardır ve 56. kattadır.
3. Kat planları ve acil kaçış planları mimarlık şirketinden alınmıştır. Her katta iki acil çıkış merdiveni, zemin katta alt ve üst katlardan gelen merdivenlerin de bağlandığı 6 acil çıkış kapısı vardır.

## VARSAYIMLAR

1. Covid-19 dolayısıyla yaşanan pandemi şartları modelde göz ardı edilmiştir.
2. İstanbul Sapphire’de, insanda boğucu etki yapan dumanın zemine yapıştırılmasını ve kullanıcıların dışarı çıkmasına zaman kazandırılmasını sağlayan “Sprinkler Sistemi” olduğu için duman katsayısı ihmal edilmiştir [1, 2].
3. Duman katsayısı ihmal edildiği için yangın sebebiyle yapılan tahliye ile bomba ihbarı üzerine yapılan tahliye arasında fark yoktur.
4. 5243 sayılı “Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik” gereğince asansörler acil çıkış olarak kullanılamaz. Binada bulunan yangın asansörleri itfaiye ve sağlık gibi birimlerin kullanımı içindir. Katlarda bulunan yangın güvenlik holleri olası bir yangın durumunda yaşlılar ve aşağı katlara merdivenler ile inemeyecek durumda olan insanların kullanımı içindir. Bu durumda olan insanları, kurtarma birimleri yangın asansörleri ile tahliye edecektir.
5. Yaşlı, hamile veya engel durumu olan insanlar yangın güvenlik holüne gidecek durumdadır veya onlara yardım edecek personel vardır.
6. Seyir terası, AVM gibi ziyaretçi kabul eden katlarda insan sayılarının eşit olduğu varsayılmıştır.
7. Her konut katında kişi sayılarının, hesaplanan ortalama değere eşit olduğu varsayılmıştır.
8. Yönetmelik gereği acil durum esnasında yürüyen merdivenler, normal merdiven olarak kullanılmaktadır, ancak yangın merdivenlerini kullanmak olası tehlikelerden korunmak için daha güvenli ve binada yeterli çıkış olduğundan bütün insanların yangın merdivenlerine yönlendirildiği varsayılmıştır.
9. Zemin katta 6’sı acil çıkış olmak üzere toplam 8 çıkış bulunmaktadır (Resim 1.).
  - a. **Üst Kattan Gelenlerin Çıkışı:** Acil çıkışlardan 2 tanesi üst katlardan gelen acil çıkış merdivenlerinin devamıdır. Bu merdivenlerin iç kısımda kalması nedeniyle günlük gelen ziyaretçilerin bu çıkışa yönelmeyeceği, katta çalışan personelin de üst kattan gelen kullanıcı yoğunluğunu tahmin ederek bu çıkışları tercih etmeyeceği varsayılmıştır. Benzer şekilde, alt kat planları incelendiğinde bu çıkışlara mağazalarda çalışan personelin ulaşabileceği ve yine üst katlardan gelen

kullanıcı yoğunluğunu tahmin ettikleri için üst kat acil çıkış merdivenlerini tercih etmeyecekleri varsayılmıştır.

- b. **Alt Kattan Gelenler ve Zemin Katta Buraya Yakın Olanların Çıkışı:** Zemin kattaki acil çıkışlardan iki tanesi alt kattaki kullanıcıların acil çıkış merdivenlerinin devamıdır. Bu çıkışları, alt kattaki kullanıcılara ek olarak giriş katta buraya yakın olan ziyaretçilerin tercih edeceği varsayılmıştır.
- c. **Alt Kattaki Yakın Kişilerin Çıkışı:** Zemin kattaki acil çıkışlardan son iki tanesi alt kattan gelen diğer taraftaki acil çıkış merdivenlerinin devamıdır. Bu çıkışların zemin kat kullanıcılarının çıkışı ile bağlantısı olmadığından sadece alt kat kullanıcıları kullanacaktır.
- d. **Zemin Kattakilerden Buraya Yakın Olanların Çıkışı:** Zemin kattaki normal çıkış kapılarının, bu çıkışa yakın olan kullanıcılar tarafından tercih edileceği varsayılmıştır.



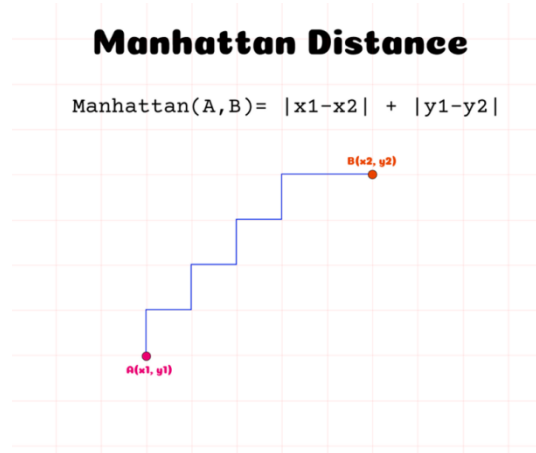
**Resim 1. Zemin Kat Acil ve Normal Çıkış Yerleri**

10. İstanbul Sapphire’de, problemde verilen tarihte, önceki yıllarda herhangi bir etkinlik yapılmadığından yola çıkılarak bu yıl için de aynı şekilde binadaki insan yoğunluğunun olağanın üzerinde olduğu herhangi bir etkinlik düzenlenmeyeceği varsayılmıştır.
11. Otoparkların bulunduğu zemin altındaki 6 katta, tahliye süresine belirgin şekilde etki edecek kadar kullanıcı olmayacağı için bu katlar modele dahil edilmemiştir.
12. Tahliye anında bir kişinin kapladığı alan yönetmelik gereği 0,5 m<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

## YÖNTEM

İstanbul Sapphire'deki kişi sayısı ile alakalı gerçek veriler paylaşılmadığı için kullanıcı sayıları Fermi Yöntemi [8] ile tahmini olarak hesaplanmıştır.

İki nokta arasındaki uzaklıklar, GeoGebra yazılımı aracılığı ile kat planları ölçeklendirilerek "Manhattan Distance" (Resim. 2) yöntemi ile hesaplanmıştır.



**Resim 2.** Manhattan Distance Yöntemi

Acil çıkış merdivenleri planlarına .dwg formatında ulaşılmış olup ölçüler "Autocad" deneme sürümü kullanılarak bulunmuştur [11]. Diğer kullanılan yöntemler ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

## TAHLİYE MODELİ

### A) ACİL ÇIKIŞ MERDİVENLERİNE KADAR TAHLİYE MODELİ

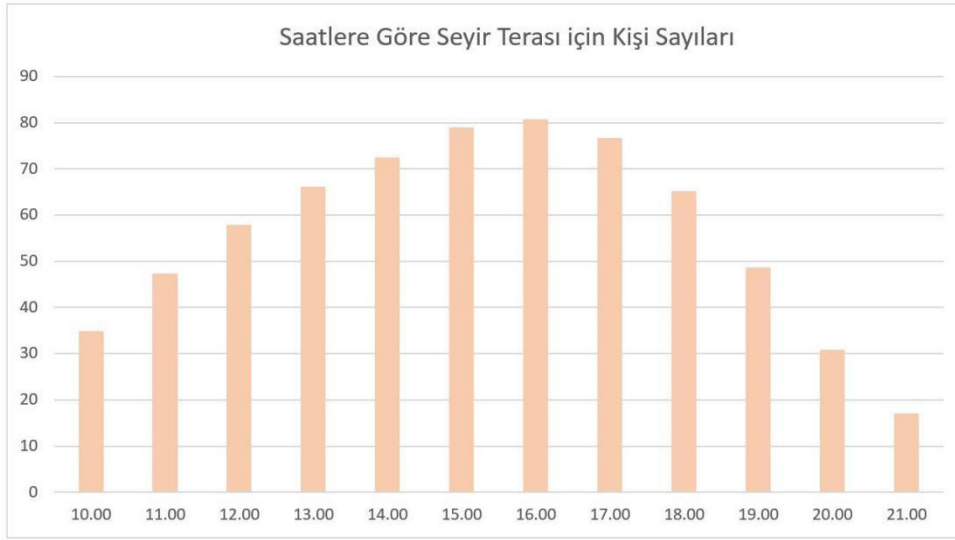
#### **Katlardaki Tahliye Süresinin Hesaplanması:**

66 katlı bir binada her katı ayrı modellemek karmaşıklığa yol açacağından tahliye süresinin hesaplanması için ziyaretçi sayısı çok olan, kullanıma ortak katlar bir modelde; konut katları ayrı bir modelde değerlendirilmiştir.

#### **1) Ziyaretçi Sayısı Çok Olan Katlarda (Zemin Kat, AVM ve Seyir Terası gibi) Tahliye Süresi:**

##### ***1.a) Ziyaretçi Sayısı Çok Olan Katlarda Kişi Sayısının Hesaplanması:***

İstanbul Sapphire'deki kişi sayısı ile alakalı gerçek veriler paylaşılmadığından, ziyaretçi sayısı çok olan katlarda, seyir terası için Google verilerinden elde edilen günlük kullanıcı sayıları baz alınmıştır (Grafik 1.).



**Grafik 1.** Saatlere göre seyir terası için tahmini kişi sayıları (Hafta İçi)

2018 yılında İstanbul Sapphire'in seyir terasının günlük 500 ziyaretçisi olduğu ve bu sayının her yıl %5 artacağı öngörülmektedir. [6] Buna göre 2021 yılında günlük 580 ziyaretçi beklenmektedir. Google verilerinden insan yoğunluğu grafiği yorumlanarak saat 14.30 için yaklaşık ziyaretçi sayısı hesaplanmıştır.

### **1.b) Ziyaretçi Sayısı Çok Olan Katlarda Kat Tahliye Süresinin Hesaplanması**

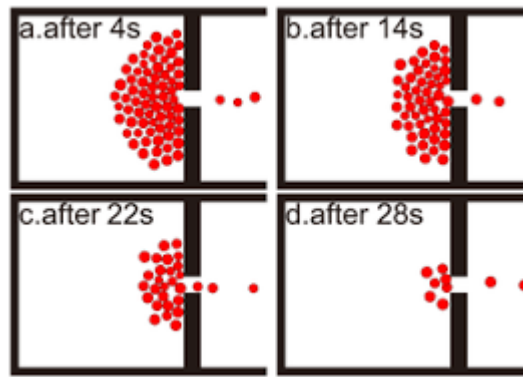
Literatürde acil bir durumda yayaların tahliye sırasındaki hareket sürecini dikkate alan, tahliye süresi için 4 aşamalı bir model kullanılan [3] kaynağındaki formüller problemimize uyarlanmıştır.

#### **i) Kullanıcıların alarmı duyduktan sonra harekete geçme süresi:**

$$T_0 = 5 \text{ olarak alınmıştır. [3]}$$

#### **ii) Kullanıcıların çıkış kapısına ulaşması için geçen süre:**

[3] ve [4] kaynaklarında, yayaların çıkış kapısına Resim.3'te olduğu gibi toplanacağı belirtilmiştir.



**Resim 3.** Çıkış Kapılarına Ulaşma Modeli



Bu bilgiler ışığında  $T_1$  (toplanma süresi) oluşturulmuştur.

$$T_1 = \frac{\text{en uzak kullanıcının çıkışa uzaklığı} - \text{kullanıcıların oluşturduğu yarım dairenin yarıçapı}}{\text{kullanıcıların ortalama hızı}}$$

Kullanıcıların ortalama hızı ( $v_{ort}$ ) 1,34 m/s olarak alınmıştır.

$$T_1 = \frac{x - \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot N}{\pi}}}{v_{ort}}$$

**iii) Yol Bulma Süresi :**

$$T_2 = \frac{\text{en yakın kullanıcının çıkışa uzaklığı}}{\text{kullanıcıların ortalama hızı}}$$

$$T_2 = \frac{L}{v_{ort}}$$

**iv) Çıkıştan Geçme Süresi :**

$$T_3 = \frac{\text{ortak alandaki kullanıcı sayısı}}{\text{çıkış kapısının kapasitesi}}$$

$$T_3 = \frac{N_{ortak}}{c}$$

Yönetmeliğin kaçış yollarının kapasite hesabına göre, 50 cm genişlikten bir dakikada 40 kişi geçeceği kabul edilmelidir. Bu bilgi ışığında katların çıkış kapısının 1m olduğu düşünülürse;

$c = \text{çıkış kapısının kapasitesi} = \frac{80 \cdot (\text{çıkış genişliği})}{60} = \frac{80 \cdot 1}{60} = 1.33 \text{ kişi/saniye}$  olarak bulunur.

Sonuç olarak ziyaretçi alan katlardaki kat tahliye süresi denklemi  $T_{ortak} = T_0 + T_1 + T_2 + T_3$  olarak belirlenmiştir.

$$T_{ortak} = \sum_{i=0}^3 T_i$$

## 2) Ziyaretçi Sayısı Az Olan Katlarda (Konut Katları) Tahliye Süresi:

### 2.a) Kullanıcı Hızlarının Saptanması:

[4]'te tahliyelerde kullanıcı hızlarının 1.2 ile 1.4 m/sn arasında olduğu ve [5]'te ortalama tahliye hızının 1.34 m/sn kabul edildiği belirtilmektedir. Bu nedenle ortalama hız 1.34 m/sn, merdiven çıkma hızı ise alt sınır olan 1.2 m/sn olarak alınmıştır. Merdiven inme hızı ise ortalama hız ile aynı olarak 1.34 m/sn alınmıştır.

Kullanıcıların merdivenden inerkenki hız değişimleri (yorgunluk, panik gibi sebeplerle) ile ilgili araştırma yapıldığında net ve somut bulgulara ulaşılamadığından kullanıcıların hareketi sabit hızlı kabul edilmiştir.

### 2.b) Kişi Sayısı Az Olan Katlarda Kişi Sayısının Hesaplanması:

Problemde saat 14.30 olarak verildiği için konut katları kalabalık olmayacağından daire başına ortalama tahliye edilen kişi sayısı 1,5 alınmıştır [7]. Ancak algoritma farklı yoğunluklar için de hesaplama yapacak şekilde hazırlanmıştır.

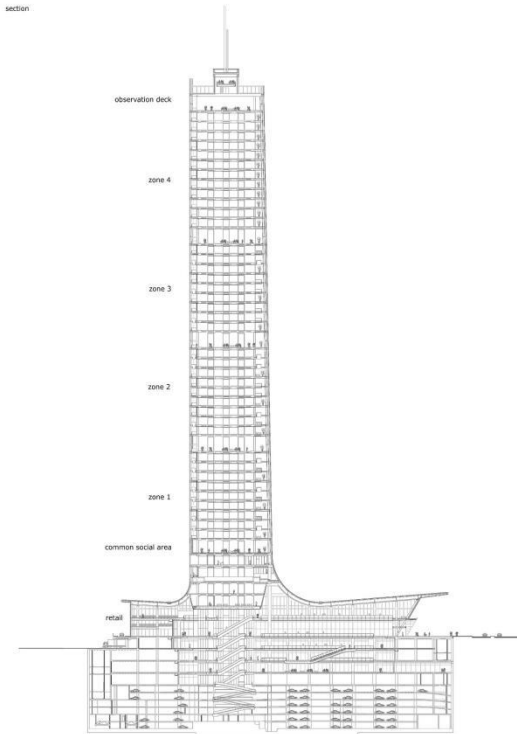
Zoneler ile ilgili bilgiler kat planlarına bakılarak hazırlanmıştır (Resim 4.).

Zone1'de kat başına 9 kişi → 10 kat

Zone2'de kat başına 7,5 kişi → 10 kat

Zone3'te kat başına 7,5 kişi → 10 kat

Zone4'te kat başına 6 kişi → 13 kat



**Resim 4.** Zonelerin Planları

Algoritmayı karmaşıktırmamak amacıyla tüm katlardaki kişi sayısı ortalama 8 olarak alınmıştır.

### 2.c) Kişi Sayısı Az Olan Katlarda Tahliye Süresinin Hesaplanması:

Konut katlarındaki kullanıcı sayısı tahliye saati nedeniyle az olduğundan acil çıkış merdivenlerine en uzak kişinin çıkış süresini hesaplamak yeterli olacaktır.

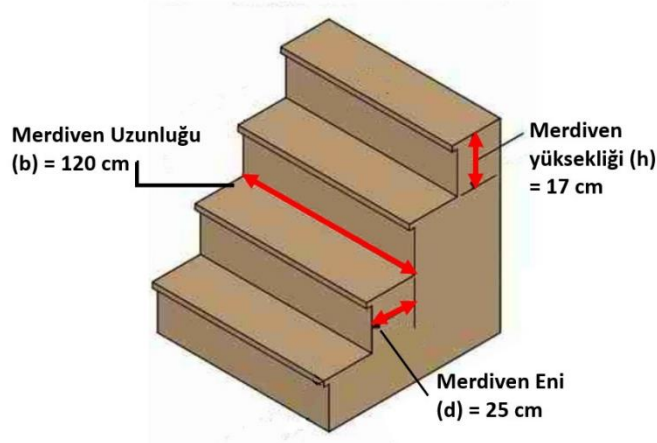
$$T_{konut} = T_0 + \frac{\text{En uzak kullanıcının çıkışa uzaklığı}}{\text{kullanıcıların ortalama hızı}}$$

## B) MERDİVENLERDEKİ TAHLİYE SÜRESİ:

### 1) Merdiven Uzunluğunun Hesaplanması:

İnsanların merdiven inme mesafelerini hesaplamak için yapılan çalışmaların derlendiği [9] incelenmiş ve binanın yapısına en uygun yöntem olan Predtechenskii & Milinski'nin metodu modele dahil edilmiştir. Ölçüler, yangın merdivenlerinin planları kullanılarak hesaplanmıştır (Resim 5.).

Basamak sayısı katların yüksekliğine göre değişiklik göstermektedir. Merdiven planlarına göre ortalama basamak sayısı 15 olarak hesaplanmıştır (Her kat için iki merdiven vardır, toplam 30 basamak).



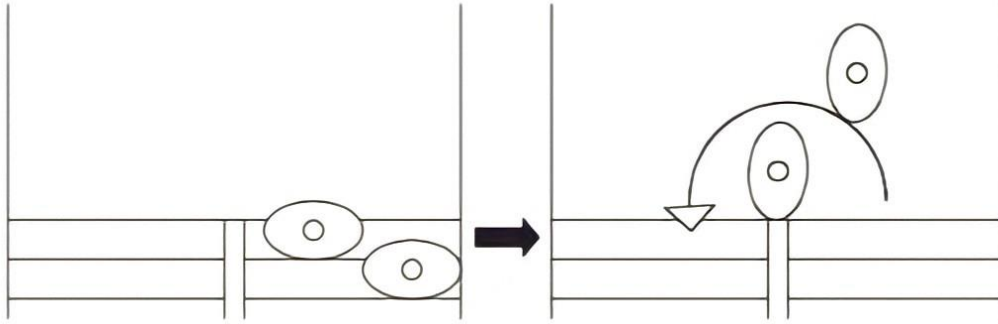
**Resim 5.** Merdivenlerin Ölçüleri

Merdiven uzunluklarını hesaplarken ( $L_{mer}$ ) Predtechenskii ve Milinski'nin de önerdiği gibi Pisagor teoreminden yararlanılmıştır. n, merdivenin basamak sayısını göstermektedir.

$$L_{Mer} = n (d^2 + h^2)^{1/2}$$

Predtechenskii ve Milinski, merdiven sahanlık uzunluğunu hesaplarken, yayaların sahanlık arası geçişlerinin ilk merdivenin orta noktasından başlayıp ikinci merdivenin orta noktasında

biteceğini belirtmişlerdir. Resim.6’da gösterildiği gibi merdiven sahanlığının uzunluğu, yayanın buradaki hareketi ile oluşacağı varsayılan yarım çemberin çevresidir [12].



**Resim 6.** Yayaların Sahanlık Arası Geçiş Modeli

$$L_{Sah} = \pi \frac{b}{2}$$

Kullanıcılar her kat indiklerinde 2 merdiven ve 2 sahanlık geçerler. Ancak son katta sahanlık olmadığı için 2 merdiven ve 1 sahanlık geçerler. Bu durumda kullanıcı bir kat indiğinde gideceği merdiven seyahat yolu;

$$L_{Yol} = 2L_{Mer} + L_{Sah} \quad (\text{metre})$$

Bu durumda f. kattan merdivenleri inen bir kullanıcı;

$$2f(L_{mer} + L_{sah}) - L_{sah}$$

kadar yol kat eder.

## 2) Merdivenlerden Tahliye Süresi Hesaplanması :

IMMC Teacher and Student Guide kitapçığındaki benzer bir problem olan “Evacuating” problemi ve çözüm önerisi incelenmiş, uygun şekilde düzenlenerek merdivenlerden tahliye süresi modellenmiştir.

Kullanıcıların merdivenlere gelene kadarki süreleri hesaplandığı ve kullanıcılar merdivenlere inmeye hazır buldukları için modelin bu kısmına harekete geçme süresi eklenmemiştir.

Merdiven tahliyesi için toplam zaman = Son kişinin çıkması için geçen gecikme süresi + son kişinin binayı tahliye etmesi için gereken süre

$$T = (N - 1) \cdot g + \frac{2k \cdot (L_{yol} + L_{sah}) - L_{sah}}{v_{ort}}$$

Çıkış genişliklerinin 1 metre olduğu düşünüldüğünde, çıkış kapılarının kapasitesi 4/3 kişi/saniye olarak hesaplanır. Yani çıkış kapısından saniyede 1.333 kişi geçer. Bu durumda 1 kişinin kapıdan geçme süresi  $g=0.75$  sn olup ardışık tahliyeler arası gecikme süresine eşittir.

Yangın merdivenlerinin genişliğinin 1.2 metre olduğu düşünüldüğünde kapasitesi 1.6 kişi/saniye ve merdivenler için ardışık tahliyeler arası gecikme süresi  $g=0.625$  sn dir.

## MODELİN UYGULANMASI

Oluşturulan algoritmalar Python diliyle kodlanmış ve çıktılar eklenmiştir.

### **1)Herhangi bir tehlike durumu olmadan tatbikat şeklinde tahliye süresinin hesaplanması:**

Algoritmanın ilk aşaması olarak herhangi bir tehlike durumu olmadan binanın ne kadar sürede boşaltılacağını görmek için tüm merdivenler tam anlamıyla kullanılmıştır. Tahmin edilebileceği gibi alt katların ve zemin katın tahliye süresi üst katların (seyir terası ve konut katları) tahliyesinden kısa sürmüştür. Resim 1.'de görüldüğü gibi üst katların acil çıkış merdivenleri zemin kat ve alt katlardan bağımsız olduğundan binanın tahliye süresini değerlendirmek için üst katların tahliye süresine bakmak yeterlidir.

Yine de zemin kat ve alt katların tahliye süreleri olası diğer durumları da değerlendirebilmek için algoritmaya eklenmiştir.

Algoritmada katlar simetrik olduğu ve iki merdiven de kullanıldığı için kullanıcıların eşit şekilde iki kapıya dağılacakları düşünülüp kullanıcı sayısı ikiye bölünerek hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca katların boşalma süreleri ve ilk kullanıcıların kat boşaltma ve merdiven inme süreleri dikkate alınarak bekleme süreleri hesaplanıp toplam tahliye süresine tüm senaryolarda eklenmiştir.

Algoritma Python diliyle kodlanmış ve tahliye süresi 27 dk 28 sn olarak hesaplanmıştır.

### **2)Yangın veya bomba ihbarı olması durumunda tahliye süresinin hesaplanması :**

İlk algoritma iki farklı şekilde düzenlenerek problem için çözüm önerileri sunulmuştur.

#### ***i) Yangın veya bomba ihbarı alınan merdivenin komple iptal edilmesi durumunda tahliye süresinin hesaplanması:***

İlk algoritmada iki çıkış için bulunan bütün veriler tek çıkış için düzenlenerek tahliye süresini hesaplayacak şekilde düzenlenmiştir.

İkinci senaryo olası bir tehlike durumunda bir merdivenin tüm katlarda iptal edilmesiyle 40 dk 26 sn olarak hesaplanmıştır.

#### ***ii) Yangın veya bomba ihbarı alınan merdivenin kat düzeyinde iptal edilmesi durumunda tahliye süresinin hesaplanması:***

Programı kullanan kişinin belirteceği katta bir merdiven iptal edilecek ve bu durumdaki tahliye süresini hesaplayacak şekilde algoritma düzenlenmiştir.

Sonuç olarak; ortak katlardaki kullanıcı sayısı, konut katlarındaki kullanıcı sayısı ve yangının kaçınıcı katta çıktığı verilerini alarak üç senaryoya da cevap veren algoritma oluşturulmuştur.

Üçüncü senaryo yangının 15. katta (örnek olarak) çıkması durumunda yalnızca o katta tek acil çıkış merdiveni kullanılacak şekilde 31 dk 13 sn olarak hesaplanmıştır.

Tüm senaryolar için farklı kullanıcı sayıları ve yangının farklı katta çıkması durumları hesap yapmak mümkündür. Bu bilgileri programı çalıştıran kullanıcı belirlemektedir.

Ortak katlarda ve konut katlarında tahliye esnasında bulunacak kullanıcı sayıları, tehlikenin hangi katta olduğu, programı kullanan kişi tarafından girilmektedir. Üç senaryo da farklı değerlerle hesaplanabilir.

## **MODELİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YANLARI**

### ***i) Güçlü Yanları:***

- 1) Bu model literatürdeki pek çok çalışma taranıp, farklı yöntemler denenip, modele uygun olmayanlar elenerek ve binanın yapısına en uygun yöntemler baz alınarak oluşturulmuştur.
- 2) Algoritma farklı senaryolara ve farklı kullanıcı yoğunluklarına cevap verecek şekilde tasarlanmıştır.
- 3) Algoritmadan alınan çıktılar daha önce benzer binalarda yapılan çalışmalardaki sonuçlara yakın olduğundan gerçeğe uygunluk kriterini sağlamaktadır.
- 4) Model, ülkemizin yönetmeliğindeki kriterler ve literatürdeki yöntemler dikkate alınarak oluşturulduğundan, ülkemizde yapılabilecek diğer çalışmalar için örnek teşkil etmektedir. Bu durum modelimizin gerçeğe yakınlığını ve uygulanabilirliğini arttırmaktadır.
- 5) Modelin her aşamasında, ölçüler bilimsel verilere dayanarak alınmış ve kat planları ölçeklendirilerek doğru değerler ile çalışılmıştır.

### ***ii) Zayıf Yanları:***

- 1) Gerçek kişi sayısı verileri paylaşılmadığı için kişi sayıları tahmin yolu ile hesaplanmıştır.
- 2) Kullanıcı hızları belirlenirken evrensel kabul edilen değerler alınmıştır. Tahliye sırasında özellikle merdivenler inilirken kullanıcıların hız değişimlerini veren net bir çalışmaya ulaşamadığı için hızlar sabit alınmıştır.
- 3) Kat planlarında .pdf formatı paylaşıldığı için ölçülendirme “GeoGebra” programı kullanılarak yapılmıştır. Çok az da olsa gerçek uzunluklar ile farklılıklar olabilir.

## **SONUÇ VE TARTIŞMA**

Probleme üç farklı senaryo üzerinden, tüm detaylar bilimsel verilere dayandırılarak çözüm önerileri sunulmuştur. Duman katsayısı ihmal edildiği için yangın sebebiyle yapılan tahliye ile bomba ihbarı üzerine yapılan tahliye arasında fark yoktur, o nedenle ayrıca modellenmemiştir.

İlk senaryoda, Fermi tahmin yöntemiyle hesaplanan kişi sayıları kullanılarak tatbikat şeklindeki tahliye süresi 27 dk 28 sn olarak hesaplanmıştır.

İkinci senaryoda, olası bir tehlike durumunda bir merdivenin tüm katlarda iptal edilmesiyle tahliye süresi 40 dk 26 sn olarak hesaplanmıştır.

Üçüncü senaryoda, yangının 15. katta (örnek olarak) çıkması durumunda yalnızca o katta tek acil çıkış merdiveni kullanılacak şekilde tahliye süresi 31 dk 13 sn olarak hesaplanmıştır.

Bulunan bu sonuçlar literatürde incelediğimiz benzer çalışmalarda alınan sonuçlara yakındır. Bu da modelin güvenilirliğinin ve geçerliliğinin bir kanıtıdır.

Ortak katlarda ve konut katlarında tahliye esnasında bulunacak kullanıcı sayıları, tehlikenin hangi katta olduğu, programı kullanan kişi tarafından girilmektedir. Üç senaryo da farklı değerlerle hesaplanabilir.

## **ÖNERİLER**

Kullanıcıların davranışları özellikle acil durumlarda kültür, yaş ve cinsiyet gibi kriterlere göre değişmektedir. Tahliye edilecek kullanıcı davranışlarını tam olarak yansıtmayan her model eksiktir. Profesyonel tahliye süresi hesaplamalarında kullanılan simülasyon programları, makroskobik modellere kullanıcı davranışları da dahil edilerek hazırlanmaktadır. Ülkemizdeki insanların tahliye sırasındaki davranışları ile ilgili çalışmalar yapıp, modelimizle birleştirilerek özgün ve kullanışlı simülasyon programları hazırlanabilir.

## **TEŞEKKÜR**

Bizimle kat planlarını paylaşan İstanbul Sapphire'in mimarlık şirketi Tabanlıoğlu Architects'e, IMMC Türkiye Temsilciliğine ve bize her konuda rehberlik eden danışman öğretmenimiz Tuğba Coşkun'a teşekkürlerimizi sunarız.

## **KAYNAKÇA**

[1] <https://www.normteknik.com.tr/dosyalar/1-SULU-SONDURME-SISTEMI-REFERANSLARIMIZ.pdf>

[2] <https://www.akimyangin.com/tr/sprinkler-sondurme-sistemleri.html>

[3] <http://www.yanginguvenlik.com.tr/edergi/5/196/64/>

[4] <https://www.acperpro.com/papers/articles/ISITES2018ID126.pdf>

[5] <http://www.yanginguvenlik.com.tr/edergi/5/194/40/>

[6] <https://www.kilergyo.com/pdf/degerleme-raporlari-2018/istanbul-Sapphire-degerleme-rapor-2018.pdf>

[7] IM2C Teacher and Student Guide

[8]<http://www.acikbilim.com/2013/05/dosyalar/uc-asagi-bes-yukari-fermi-problemleri-ve-tahmin-sanati.html>

[9] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711211001676>

[10][https://www.researchgate.net/publication/260524634\\_Individual\\_Stair\\_Ascent\\_and\\_Descent\\_Walk\\_Speeds\\_Measured\\_in\\_a\\_Korean\\_High-Rise\\_Building](https://www.researchgate.net/publication/260524634_Individual_Stair_Ascent_and_Descent_Walk_Speeds_Measured_in_a_Korean_High-Rise_Building),

[11]<https://www.drawturk.com/autocad/sorgulama-komutlari-inquiry/uzunluklari-olcme-distance>

[12] Hoskins, B. L.; Milke, J. A. (2012) Differences in Measurement Methods For Travel Distance And Area Estimates Of Occupant Speed On Stairs, Fire Safety Journal, 48 (2012) 49-57

[13] Ayhan, M; Ergan, S.; Güven G. ve ark. (2012) Bina İçi Yönlendirme Sistemlerinde Kullanılan En Kısa Yol Algoritmalarının Afet ve Acil Durum Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi. 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 13 – 16 Eylül 2012 İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla-İzmir

[14] Çakıcı, N. 2004, Yüksek Binalarda Acil Boşaltım Süresinin Belirlenmesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gebze.

## EKLER

Tabanlıoğlu Architects'ten alınan kat planları .pdf ve .dwg , GeoGebra ile ölçeklendirilen kat planları .ggb olarak mail olarak iletilmiştir. Ayrıca kodların .py dosyası da iletilmiştir.

Python ile yazılan kodda ve model senaryolarında algoritma açıklandığı için tekrar olmaması adına akış şeması eklenmemiştir, ancak kodda kullanılan tüm değişkenler için tablo düzenlenmiştir.

**Tablo.2** Algoritma ve kodda kullanılan ek değişkenler

x_sey_max	Seyir terasındaki en uzak kişinin çıkışa uzaklığı
x_sey_min	Seyir terasındaki en yakın kişinin çıkışa uzaklığı
x_kat_max	Konut katlarında en uzak kişinin çıkışa uzaklığı
x_kat_min	Konut katlarında en yakın kişinin çıkışa uzaklığı
b_mer	Merdiven Basamak Uzunluğu
x_sey_mer_min	Seyir terasındaki çıkışa en yakın kişinin merdivene uzaklığı
N_ortak0	Girilen kullanıcı sayısının yarısı
N_ortak	Ortak katlar için girilen kullanıcı sayısı
T_seyir	Seyir terasının kat tahliye süresi



T_konut_tah	Konut kat tahliye süresi
T_ilk	Konut katında çıkışa en yakın kişinin merdivene geliş süresi
T_mer0	Bir kişinin bir kat merdiven inme süresi
T_seyir_ilk	Seyir terasından ilk kullanıcının katı boşaltıp bir kat merdiven inme süresi
T_konut_1	Konut katındaki tüm kullanıcıların katı boşaltıp bir kat inme süresi
T_konut_ilk	Konut katındaki ilk kullanıcının katı boşaltıp bir kat merdiven inme süresi
T_bekleme	Merdivenlerde kullanıcıların toplam bekleme süresi
Toplam_merdiven_tahliyesi	Merdivenlerdeki toplam tahliye süresi
TTS	Toplam tahliye süresi
i_katı_uzunluğu	İkinci senaryo için katın uzunluğu (metre)
x_sey_max_2	İkinci senaryo için seyir terasındaki en uzak kişinin çıkışa uzaklığı
x_sey_min_2	İkinci senaryo için seyir terasındaki en yakın kişinin çıkışa uzaklığı
x_konut_max_2	İkinci senaryo için Konut katlarında en uzak kişinin çıkışa uzaklığı
x_konut_min_2	İkinci Konut katlarında en yakın kişinin çıkışa uzaklığı

### Python Kodları :

```
import math
```

```
N_ortak=int(input("Ziyaretçi kabul eden alan için kullanıcı sayısı giriniz (bir kat için) :"))
```

```
N_konut=int(input("Konut katları için kullanıcı sayısı giriniz (bir kat için) : "))
```

```
i= int(input("Yangın çıkan merdivenin kat bilgisini giriniz:"))
```

```
(x_sey_max,x_sey_min,c,t0,f,V,k,x_kat_max,x_kat_min,w,d,b_mer,g,h,x_sey_mer_min)=(24.07,1,1.33,5,0.5,1.34,56,30.09,15.06,1,0.25,1.2,0.75,0.17,14.71)
```

```
N_ortak0 = N_ortak/2
```

```
#1.Tahliye senaryosu
```

```
#seyir terası için tahliye süreleri
```

```
t1 = x_sey_max-(2*f*N_ortak/math.pi)**0.5
```

```
t2 = x_sey_min/V
```

$$t3 = N_{ortak}/c$$

$$T_{seyir}=t0+t1+t2+t3$$

# konut tahliyesi için süreler

$$N_{konut0} = N_{konut}/2$$

$$T_{konut\_tah}=t0+x_{kat\_max}/V$$

$$T_{ilk}=x_{kat\_min}/V \quad \#konut \text{ katında çıkışa en yakın kişinin merdivenlere geliş süresi}$$

# merdiven için uzunluklar

$$l_{mer} = 15*(d**2+h**2)**0.5$$

$$l_{sah} = \text{math.pi} * b_{mer} / 2$$

$$l_{yol} = 2*l_{mer} + l_{sah}$$

$$T_{mer0} = l_{yol}/V$$

$T_{seyir\_ilk} = (x_{sey\_mer\_min} + l_{yol})/V$  #seyir terasından ilk kullanıcının katı boşaltıp bir kat merdiven inme süresi

$T_{konut\_1} = T_{konut\_tah} + (N_{konut0}-1)*g + l_{yol}/V$  #konut katındaki herkesin boşaltım ve bir kat inme süresi

$$T_{konut\_ilk} = T_{ilk} + l_{yol}/V$$

#beklmelerin hesaplanması için yazılan kısım

if  $T_{seyir\_ilk} < T_{konut\_1}$ : #seyir terasından çıkan ilk kullanıcının çıkış süresi ile altındaki katın boşaltım süresi karşılaştırılır

$bekleme\_1 = T_{konut\_1} - T_{seyir\_ilk}$  # eğer boşaltım süresi ilk kullanıcının çıkış süresinden fazlaysa aradaki süre farkı her kat arası bekleme süresi olarak alınır

else:

$bekleme\_1 = 0$  # eğer boşaltım süresi daha az ise bekleme olmaz.

if  $T_{konut\_1} > T_{konut\_ilk}$ : #konut katından çıkan ilk kullanıcının çıkış süresi ile altındaki katın boşaltım süresi karşılaştırılır

$bekleme\_2 = T_{konut\_1} - T_{konut\_ilk}$  # eğer boşaltım süresi ilk kullanıcının çıkış süresinden fazlaysa aradaki süre farkı her kat arası bekleme süresi olarak alınır

else:

bekleme\_2 = 0 # eğer boşaltım süresi daha az ise bekleme olmaz.

T\_bekleme = bekleme\_1 + 54\*bekleme\_2 # her kat için bu süreler kabul edilir

Toplam\_merdiven\_tahliyesi=(N\_ortak0-1)\*g+((k-1)\*2\*(l\_mer + l\_sah)-l\_sah)/V

TTS = Toplam\_merdiven\_tahliyesi + T\_bekleme + T\_seyir # toplam merdiven tahliyesi, bekleme süresi ve seyir terası çıkış süresi toplamı toplam tahliye süresini hesaplar

print("Herhangi bir tehlike olmayan senaryo için toplam tahliye süresi : {} dakika {} saniye olarak hesaplandı.".format(int(TTS//60),int(int(TTS-60\*(TTS//60))))))

## #2.Tahliye Senaryosu

Toplam\_merdiven\_tahliyesi2=(N\_ortak-1)\*g+((56-i)\*2\*(l\_mer + l\_sah)-l\_sah)/V + T\_bekleme+T\_seyir

i\_katı\_uzunluğu = 45

#i katı üstü kullanıcı sayısı m

m = (55-i)\*N\_konut0 + N\_ortak0

tt1 = m/c # i. kat üstündeki diğer merdivenden geçiş sağlandıktan sonra kapının kapasitesine göre son kişinin katı boşaltma süresi

tt2 = (4\*l\_mer + 3 \* l\_sah +i\_katı\_uzunluğu)/V # i katı üstünden i katı altına merdivenlerle ve yatay sirkülasyonla geri merdivene gelme süresi

tt3 =((i-1)\*2\*(l\_mer + l\_sah)-l\_sah)/V # i katı altından diğer merdivene geçtikten sonraki tahliye süresi

TTS\_2 =tt1+tt2+tt3+Toplam\_merdiven\_tahliyesi2 # toplam tahliye süresinin hesaplanması

print("Yangın olan {}.kat merdiveni iptal edildiğinde tahliye süresi : {} dakika {} saniye olarak hesaplandı.".format(i,int(TTS\_2//60),int(int(TTS\_2)-60\*(TTS\_2//60))))

## #3.Tahliye Senaryosu

x\_sey\_max\_2 = 34.54 # bir merdiven iptal edildiğinde seyir terasında hesaplanan çıkışa en uzak kişinin uzaklığı

x\_sey\_min\_2 = 1# bir merdiven iptal edildiğinde seyir terasında hesaplanan çıkışa en yakın kişinin uzaklığı

x\_konut\_max\_2 = 44.11 # bir merdiven iptal edildiğinde konut katında hesaplanan çıkışa en uzak kişinin uzaklığı

x\_konut\_min\_2 = 15.06 # bir merdiven iptal edildiğinde konut katında hesaplanan çıkışa en yakın kişinin uzaklığı

#seyir terası için tahliye süreleri

$$t11 = x\_sey\_max\_2 - (2*f*N\_ortak/math.pi)**0.5$$

$$t22 = x\_sey\_min\_2/V$$

$$t33 = N\_ortak/c$$

$$T\_seyir2 = t0+t11+t22+t33$$

#konut için tahliye süreleri

$$T\_konut\_tah=t0+x\_konut\_max\_2/V$$

$$T\_ilk=x\_konut\_min\_2/V$$

$T\_seyir\_ilk = (x\_sey\_mer\_min + l\_yol)/V$  #seyir terasından ilk kullanıcının katı boşaltıp bir kat merdiven inme süresi

$T\_konut\_1 = T\_konut\_tah + (N\_konut-1)*g + l\_yol/V$  #konut katındaki herkesin boşaltım ve bir kat inme süresi

$$T\_konut\_ilk = T\_ilk + l\_yol/V$$

# 1. senaryoya benzer şekilde alt kattaki kullanıcıları bekleme süreleri hesaplanır

if  $T\_seyir\_ilk < T\_konut\_1$ :

$$bekleme\_1 = T\_konut\_1 - T\_seyir\_ilk$$

else:

$$bekleme\_1 = 0$$

if  $T\_konut\_1 > T\_konut\_ilk$ :

$$bekleme\_2 = T\_konut\_1 - T\_konut\_ilk$$

else:

$$bekleme\_2 = 0$$

$$T\_bekleme = bekleme\_1 + 54*bekleme\_2$$

$$Toplam\_merdiven\_tahliyesi\_3=(N\_ortak-1)*g+(55*2*(l\_mer + l\_sah)-l\_sah)/V$$

$$TTS\_3 = Toplam\_merdiven\_tahliyesi\_3 + T\_bekleme + T\_seyir2$$

print("Acil çıkış merdivenlerinden birinin tüm binada komple iptal edilmesi senaryosu için toplam tahliye süresi {} dakika {} saniye olarak hesaplandı.

".format(int(TTS\_3//60),int((TTS\_3-60\*(TTS\_3//60))))

#AVM tahliye çıkış süresi

$$V\_cik = 1.2$$

```
avm_max_x = 57.9
```

```
avm_min_x = 13.6
```

```
# AVM'deki bekleme süresi hesaplanır
```

```
if t0 + avm_max_x > (avm_min_x+2*l_mer+l_sah)/V_cık :
```

```
    gecikme = (t0 + avm_max_x -(avm_min_x+2*l_mer+l_sah))/V_cık
```

```
else:
```

```
    gecikme = 0
```

```
TTS_Z=(avm_max_x+(4*2*(l_mer + l_sah)-l_sah))/V_cık + 4*gecikme
```

```
print("Zemin altındaki katlarda tahliye süresi {} dakika {}  
saniyedir".format(int(TTS_Z//60),int(TTS_Z-60*(TTS_Z//60))))
```

```
#giriş katta çıkışları farklı olduğu için birbirinden bağımsız olan zemin altı katlardaki tahliye  
süresi ile zemin üstü katlardaki tahliye süreleri karşılaştırılır fazla olan süre toplam tahliye  
süresi olarak hesaplanır
```

```
if TTS_2 >= TTS_Z:
```

```
    print("Zemin altı ve zemin üstü katların giriş kattaki çıkış merdivenleri farklı olduğu için  
herkesin çıkması için gereken süre {} dakika {} saniye alınır.  
".format(int(TTS_2//60),int(int(TTS_2-60*(TTS_2//60))))
```

```
elif TTS_Z > TTS_2:
```

```
    print("Zemin altı ve zemin üstü katların giriş kattaki çıkış merdivenleri farklı olduğu için  
herkesin çıkması için gereken süre {} dakika alınır. ".format(TTS_Z-60*(TTS_Z//60)))
```