

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK BİNALARDA ACİL BOŞALTIM
SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

Neşe ÇAKICI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GEBZE
2004

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK KATLI BİNALARDA ACİL
BOŞALTIM SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

Neşe ÇAKICI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Atilla ÖVEN

GEBZE
2004

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMASI TUTANAĞI

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 12/01/2004 tarih 2004/02 sayılı kararı gereğince Mimarlık Anabilim Dalı 01326102 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Neşe ÇAKICI'nın Tez Savunması İmtihanı yapmak üzere jürimiz, Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ, Yrd. Doç. Dr. V. Atilla ÖVEN ve Prof. Dr. Güner YAVUZ 11 Mayıs 2004 Salı günü saat .10:00'da toplanmıştır.

Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ jüri başkanı, Yrd. Doç. Dr. V. Atilla ÖVEN raportör seçilmiştir.

Ferdi raporlar görüşülerek müşterek rapor hazırlanmış, öğrencinin hazırlamış olduğu tezin reddine / düzeltilmesine (3 ay ek süre verilmiştir) / kabulüne karar verilmiştir.

11/02/2003

Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ
Başkan

Yrd. Doç. Dr. V. Atilla ÖVEN
Üye

Prof. Dr. Güner YAVUZ
Üye

ÖZET

Çalışmada, bina boşaltım süresi ve önemi anlatılmaktadır. Bu süreyi etkileyen kriterler yayınlanmış uluslar arası literatür çalışmalarına dayanarak ayrıntılı olarak incelenmektedir. İncelenen literatür ışığında, boşaltım sürelerini tahmin eden modeller, bu modellerin modelleme kabulleri ve birbirleri arasındaki farklar özetlenmektedir. Tez kapsamında, İstanbul’da yer alan yüksek yapı ‘buildingEXODUS’ yazılımı kullanarak bilimsel metot ve tekniklere dayalı geniş bir girdi spektrumu kullanılarak analiz edilmektedir. Bu analiz sonuçları değerlendirilerek, binanın can güvenliğini daha da iyileştirecek bir takım öneriler sunulmaktadır.

Tezin birinci bölümünde, yüksek yapı güvenlik problemleri ortaya konmuş, tezin amaç ve önemi açıklanmaktadır.

İkinci bölümde, dünya literatüründe boşaltım modelleri ve boşaltım modellerine bağlı alt konularla ilgili bilimsel çalışmalar incelenmektedir.

Üçüncü bölüm olan metot kısmında, kullandığımız programın özellikleri detaylı olarak anlatılmakta ve yazılımın modelleme yaparken hangi kabulleri kullandığı açıklanmaktadır. Yapılan alan çalışması, alan çalışmasının yapıldığı bina, bina için öngörülen kabuller ve denenen senaryolar bu bölümde anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde ise, yüksek bir yapının modellemesi sonucunda yazılımdan elde edilen parametrik çalışma bulguları değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, incelenen çalışma bölgesi için tefriş, kullanıcı, ve bina plan bölüntüleri ile ilgili öneriler dile getirilmektedir.

Sonuç kısmında ise, genel bir değerlendirme yapıp geleceğe yönelik çalışmalar ve bu tür çalışmaların gelecekte de yürüyebilmesi için gerekli olan bilimsel alt yapı platformunun nasıl oluşturulabileceğine değinilmektedir.

SUMMARY

An emphasis has been placed on the evacuation time of tall buildings in terms of life safety. The aspects of dictating this time are thoroughly explained in the light of well established published international literature review. In particular, mathematical models predicting the evacuation time and new advances in the algorithms are discussed in the detail, giving an overall updated view on the way this specific area of research is heading utilizing one of the most effective evacuation models, ‘buildingEXODUS’, a high-rise in Istanbul has been interrogated with regard to its efficiency and life safeties, incorporating the influence of a wide range of parameters and revealing methods and techniques in obtaining them. As a result of this analysis and findings, a number of recommendations on improving life safety aspects in the building are being made.

In the first chapter issues regarding safe evacuation from high-rises have been introduced the objective and significance of the under taken project are explained.

In the second chapter an extensive literature review on the evacuation models and related interdisciplinary specialist areas are presented.

In the third chapter the theoretical background of ‘buildingEXODUS’ is briefly introduced assumptions in modeling techniques for assessing building and user data’s are presented. Scenarios likely to influence the evacuation process are underlain.

In fourth chapter a tall office building in Istanbul is investigated to determine the life threatening scenarios and the consequences on building occupants. A member of measures to improve the issues hampering the evacuating process related to architectural layout, furniture and personal training are recommended.

In the fifth and final chapter general conclusions are drawn. Future work objectives in the subject are suggested.

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince, tezin şekillenmesinde ve ilerlemesinde göstermiş olduğu ilgi ve bana kattığı bilimsel vizyon dolayısı ile çok değerli hocam Yrd. Doç Dr. V.Atilla ÖVEN’e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca bana göstermiş olduğu destek ve katkılarından dolayı aileme ve kuzenim M. Tuba MERT’e teşekkür ederim.

Mayıs 2004,

Neşe ÇAKICI

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yönetmeliklerde Boşaltım Süresinin Tahmini ile İlgili Problemler	10
1.2. Amaç, Önem ve Sınırlılıklar	11
2. BOŞALTIM SÜRESİNİ EKİLEYEN KRİTERLER	15
2.1. Boşaltım Süresinin Belirlenmesinde Toksikoloji	15
2.1.1. Tahriş Edici Gazlar	21
2.1.2. Narkotik Gazlar	26
2.1.2.1. Karbon Monoksit (CO)	26
2.1.2.2. Hidrojen Siyanür (HCN)	37
2.1.2.3. Karbon Dioksit (CO ₂)	43
2.1.2.4. Oksijen Eksikliği	44
2.2. Boşaltım Süresinin Belirlenmesinde Psikoloji	46
2.2.1. Harekete Geçme Öncesi Süreç	47
2.2.1.1. Olayın Farkına Varılması	47
2.2.1.2. Tepki Süresi	48
2.2.2. Hareket Süreci	54

2.2.2.1. Kullanıcı Çıkış Yolu Bilgisi	54
2.2.2.2. Duman Engeliyle Karşılaşınca Kullanıcının Davranış Biçimi	56
2.2.2.3. Kullanıcının Duman İçindeki Hareketi	61
2.3. Boşaltım Modelleri ve Uygulamaları	64
3. ACİL BOŞALTIM SÜRESİNİN MODELLENMESİ VE SAHA ÇALIŞMASI	90
3.1. ‘buildingEXODUS’ Yazılımının Teorik Yaklaşımı	90
3.2. Saha Çalışması	97
3.3. Modellemede Kabuller	99
3.3.1. Mekansal parametreler	99
3.3.2. Kullanıcılar İle İlgili Parametreler	100
3.3.3. Yangın ve Duman Karakteristikleri ile ilgili Parametreler	105
3.3.3.1. Sprinkler Sisteminin Devre Dışı Kaldığı Senaryo	107
3.3.3.2. Sprinkler Sisteminin Devrede Olduğu Senaryo	110
3.3.4. Senaryo	113
4. PARAMETRİK ÇALIŞMA BULGULARI VE ÖNERİLER	114
4.1. Parametrik Çalışmalar	114
4.1.1. Yalın Boşaltım	114
4.1.2. Yangın Senaryosu ile Boşaltım	115
4.1.2.1. Sprinkler Sistemi Devrede İken Boşaltım Senaryosu	116
4.1.2.1.1. 6. Kat Yangını	116
4.1.2.1.2. 16. Kat Yangını	116
4.1.2.1.3. 26. Kat Yangını	117
4.1.2.2. Sprinkler Sistemi Devre Dışı İken Boşaltım Senaryosu	118
4.1.2.2.1. 6. Kat Yangını	118
4.1.2.2.2. 16. Kat Yangını	119

4.1.2.2.3. 26. Kat Yangını	120
4.2. Parametrik Çalışma Bulgularının Değerlendirilmesi	121
4.3. Öneriler	122
4.3.1. Tefrişle İlgili Öneriler	122
4.3.2. Kullanıcı ile İlgili Öneriler	123
4.3.3. Bina Plan Bölüntüleri ile İlgili Öneriler	123
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	126
5.1. Genel Değerlendirme	126
5.2. Özel değerlendirme	126
5.3. Gelecekteki Çalışmalar	127
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	135
EKLER	136

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1 1. 23 Şubat 1991 Philadelphia yangını	3
1 2. 23 Kasım 1995 Emphire state yangını	4
1.3. 18 Ekim 2003 Chicago	4
1.4. 28 Ocak 2000 –Rusya’da Moskova Ostankino televizyon kulesi yangını	6
1.5. 8 Aralık 1997 - Endonezya’nın başkenti Jakarta’da 25 katlı Merkez Bankası kompleksinin kulesinde çıkan yangın	6
1.6. Saldırı sonrası Murrah Federal binası	8
1.7. World Trade Center saldırısı	8
1.8. World Trade Center saldırısı	8
1.9. 20 Kasım 2003 İstanbul HSBC genel müdürlük binası terörist saldırısı	13
2.1. Saat dilimi ve yaş grubuna göre ölüm dağılımı	17
2.2. CFK - Haber doz kuralı karşılaştırması	20
2.3. Sabit doz altında (27000 ppm dak) konsantrasyon-süre ilişkisi	20
2.4. Öldürücü doz karbon monoksit (CO) konsantrasyonu ilişkisi	30
2.5. Kazazedelerin kanlarında ölçülen karboksi hemoglobin (COHb) yüzdesi	32
2.6. Karbondioksit konsantrasyonu ile karboksi hemoglobin seviyesi arasındaki ilişki	36
2.7. Hidrojen siyanür (HCN) ve CO bilinç kaybı süresi ilişkisi ile karşılaştırılması	38
2.8. World Trade Center vaziyet planı	49
2.9. Kullanıcıların harekete geçme öncesi (pre-movement) süresine göre dağılımları	53
2.10. Kullanıcı davranış süreleri	54

2.11. Dumanlı ortamda, ışıık veren objelerin ışıık tutma katsayısı – görüüş mesafesi ilişikisi.	61
2.12. Jin'nin [1978], çalışması sonucu dumanın kullanıcı hareketine olan etkisi.	62
2.13. Kullanıcın dumanlı ortamda dar bir mekandaki hareketi	63
3.1. Modül boyutları ile bağlantı hatlarının koordinasyon ve mesafeleri	91
3.2. Program modülleri arasında etkileşim diyagramı	92
3.3. Sabancı Center genel görünümü	98
3.4. Sabancı Center Kulesi mimari kat planı	99
3.5.a) Geometrik model ve bağlantı hatları b) Kapıların modelde gösterimi	100
3.6. Erkek ve kadın boy normal olasılık dağılımı	102
3.7. Erkek ve kadın kilo güven aralığı diyagramı	103
3.8. Sabır süresi olasılık dağılım eğrisi	103
3.9. Atılganlık değerleri normal olasılık dağılımı	103
3.10. Yangının çıktığı varsayılan noktaların mimari plan ve kesitlerde gösterimi	106
3.11. Yangın modelinde kullanılan ofis yangını orta şiddetli ısıı enerji çıkıtısı	107
3.12. Normal kat planında mekanlarda sıcaklık değışimi	108
3.13. Yangının çıktığı mekanda (1. bölge) ısıı enerji ve oksijen yüzdesi değışimi	109
3.14. Bölgelerdeki %CO ve CO ₂ değışimi	109
3.15. Normal kat planında mekanlarda sıcaklık değışimi	110
3.16.a) Yangının çıktığı mekanda (1. Bölge) ısıı enerji çıkıtısı b) Oksijen (O ₂) yüzdesi değışimi	111
3.17. Bölgelerdeki karbon dioksit CO ₂ değışimi	111

3.18.a) 1. bölgede sıcaklık zaman ilişkisi b) 0-280s zaman aralığındaki sıcaklığın lineer bağıntı olarak ifade edilmesi	111
3.19. Sıcaklık zaman ilişkisinin 280-760s ve 760-2980s zaman aralığında lineer bağıntı olarak ifade edilmesi	112
3.20. Zamana bağlı değişimin lineer denklemleri ile ‘buildingExodus’ yazılımında renklerle ifadesi	112
4.1. Yalın boşaltım koşullarında binayı boşaltan kişi sayısı	115
4.2.a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Çıkış kapılarından çıkan kişi sayısı	116
4.3.a) Binayı boşaltan kişi sayısı. b) Çıkış kapılarından akış	117
4.4.a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Çıkış kapılarından akış	118
4.5.a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Can kaybı sayısı	119
4.6.a) 1 nolu kapıdan binayı boşaltan kişi sayısı b) 2 nolu kapıdan binayı boşaltan kişi sayısı	119
4.7.a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Can kaybı sayısı	120
4.8.a) Binayı 1 nolu kapıyı kullanarak boşaltan kişi sayısı b) Binayı 2 nolu kapıyı kullanarak boşaltan kişi sayısı	120
4.9.a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Can kaybı sayısı	121
4.10.a) Binayı 1 nolu kapıyı kullanarak boşaltan kişi sayısı b) Binayı 2 nolu kapıyı kullanarak boşaltan kişi sayısı	121
4.11. Sabancı Center için korumalı lobi önerisi	125

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
1.1. 2002 yangın yönetmeliğine göre, ofis binaları için olması gereken en uzun çıkış mesafeleri	11
1.2. İstanbul’da 1985’ten sonra yapılan yüksek binalar	12
2.1. Kasıtsız konut yangını ölüm nedenleri	15
2.2. Çeşitli malzemelerin yanmasıyla ortaya çıkan toksik bileşikler	18
2.3. Tahriş edici yanma ürünlerinin hassasiyet oranları	22
2.4. 30 dakika solunmasının tahriş yaratma konsantrasyonları	25
2.5. 30 dakika solunmasının ödem yaratma konsantrasyonları	25
2.6. Düşük karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarında deneysel karboksi hemoglobin bulguları	28
2.7. Orta karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarında deneysel karboksi hemoglobin bulguları	28
2.8. Yüksek karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarında deneysel karboksi hemoglobin (COHb) bulguları	29
2.9. Varon, et. al., [1999], göre karboksi hemoglobin (COHb) etkisi	32
2.10. Hayvan denekler üzerinde yapılan toksik deneyleri ve fizyolojik sonuçları	33
2.11. Maymun denekler üzerinde HCN testleri	39
2.12. Fare deneklerin düşük ve orta konsantrasyon HCN deneyleri	40
2.13. Kullanıcıların, yangından haberdar olma şekli ve yüzdeleri	48
2.14. Kullanıcıların yangından haberdar olma şekilleri ve oranları	48
2.15. 26 Şubat 1993 ikiz kule kurbanlarının olaydan haberdar olma uyarıcıları	49
2.16. İngiltere ve A.B.D.’inde tepki süresi esnasında davranış	51
2.17. Yangında kullanıcıların ilk, ikinci, ve üçüncü hareketleri ve yüzdeleri	52

2.18. Cinsiyete göre yapılan hareketlerin değişimi	52
2.19. Büyük mekan yangından kaçış sonuçları	55
2.20. ABD ve İngiltere’deki kullanıcıların karşılaştırılmalı olarak görüş mesafesi-duman içine girme davranış yüzdeleri	57
2.21. Görüş mesafesi-duman içine girme ilişkisi	58
2.22. Dumanda görüş mesafesi ve kullanıcıların geri dönme yüzdeleri	58
3.1. Kullanıcıların cinsiyetlerine göre yaş dağılımları	101
3.2. Vücut kütle endeksi değeri	104
3.3. Kullanıcı parametreleri	105
3.4. Modellemede kullanılan hareket etme opsiyonları ve tercihler	113
3.5. Modellemede kullanılan kullanıcı çıkış opsiyonları ve tercihler	113
3.6. Modellemede kullanılan dumanda hareket tercihleri	113

1. 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.

Mevcut standart kriterlere göre inşa edilen, özellikle yüksek binaların boşaltım verimliliğinin gerçekte ne olduğu bilinmemektedir. 11 Eylül saldırısı sonrası World Trade Center binasında yaşanan ölümlerin ana sebebi büyük ölçüde boşaltım verimliliğinin aksamış olabileceği ile açıklanabilmektedir. Nitekim binanın yangın dayanım süresinin 2 saat olduğu yangın yönetmeliklerince belirlenmektedir [The Aqua Group, 1984]. Bu süre dahilinde binada ölen yaklaşık 2800 kişinin ölüm sebebi, bu kişilerin binayı terk edememiş olmaları ile açıklanabilir [CNN, 2002]. Bu durumda, yüksek binaların boşaltım sürelerinin tekrar gözden geçirilmesi gereği can güvenliği açısından önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Ayrıntıları incelenecek olan yangın ve terör olaylarında hayatını kaybeden kişi sayısının özellikle yangın olayları için önemli boyutlarda olmaması genellikle yangın güvenliği konusunda liderlik rolü oynayan batı ülkelerin çok iyi eğitilmiş itfaiye örgütlerinin üstün çabalarına ve, bir yerde, tesadüflere dayalıdır. Yüksek bina yangınlarının büyük bir çoğunluğunun ABD’de yer alması, yaşanan ölüm sayısının düşük olmasına ve haklı-haksız olarak bazı çevrelerin -özellikle aktif yangın

önlemleri ile donatılmış akıllı binalarla yangında tam güvenlik sağladığını düşünen mühendis ve mimarlar- aşırı güven duymalarına yol açmıştır. Bu dar görüşün anlamakta güçlük çektiği ve her seferinde yanıldığı unsur insan davranışı ve davranış psikolojisidir. Ayrıca unutulmamalıdır ki, bahsi geçen bu gelişmiş ülkelerin yüksek binaları, kıstasları oldukça yüksek olan bina yönetmelik ve standartlarına tam olarak uyularak inşa edilmiştir. Yazar ve danışmanı, bu noktada sözü geçen niteliklerde yeterli olmayacağını ve bilinen yüksek bina yangınlarında ölüm sayısının azlığının tesadüf olduğunu, bilinçli saldırılarla, uygun zamanlarda yangına yol açtığı yüksek bina terörist saldırı olaylarına bakılarak anlaşılabileceğine dikkat çekmektedir. Nedense bu olaylarda ölüm sayısı hızla artış göstermekte, tesadüfi olumlu koşullar ortadan kalkmakta ve örgütlü itfaiye çalışması da yeterli olmamaktadır. Bu yangının yanlış olmadığı, hem yangın, hem de terörist saldırı sonrası yangın olaylarına bakarak karar verilebilir. Özellikle yangın olaylarında yangının hızla kontrol altına alınması ile (güçlü itfaiye örgütü etkisi) insanların büyük bir kısmı binayı boşaltmadan belli katlarda güvenle bekletilebilmiştir ya da boşaltım olmuş ise de ne kadar kişi ne kadar sürede binayı terk ettiği açıkça bilinmemektedir. Buna rağmen genellikle yangın söndürülmekte, ya da belli katlar arasında kontrol altına alınmakta, bina strüktürü yıkıma yol açacak bir hasar almaya fırsat bulamamakta, yangın katlarda bekleyen ve boşaltım yapamayan kişilere ulaşamamakta, ve ölüm sayısı da böylelikle, düşük olarak istatistiklere geçebilmektedir. Bu zafiyetlerin genellikle tesadüflere bırakılmadığı ve bilinçli olarak test edildiği terörist saldırılar da ise, boşaltımın sekteye uğraması halinde, verilen uygun tesadüflerin en az birinin gerçekleşmesi 11 Eylül saldırısında karşılaşılan tabloyu ortaya çıkarmaktadır.

Yakın zaman yangın olaylarına tarihsel süreç içinde bakıldığında, uygun tesadüflerin varlığı açıkça görülmektedir. Örneğin ABD’de 23 Şubat 1991 Pennsylvania, 38 katlı Meridian Plaza yangın resimlerine bakıldığında (Bkz. Şekil 1.1) 25. katta çıkan yangının bu katın üstündeki 9 katı etkilediği ve yangının itfaiyecilerin üstün gayretleri ile kısa sürede kontrol altına alındığı açıkça görülmektedir. Ancak yangın bilançosu incelendiğinde, itfaiyeci erlerinden üçünün hayatını yitirdiği, 24’ünde yaralandığı rapor edilmektedir. [United States Fire Administration, 1991]. Yangında bina kullanıcıları içinde sadece 1 kişinin yaralandığı açıklanmaktadır. Bu örnek yangının akşam saatlerinde çıkması, ve kullanıcıların büyük bir kısmının binada olmaması ile uygun tesadüflerin ve itfaiye

üstün hizmetinin bir arada oluşabildiği görüşünü adeta desteklemektedir. Benzer diğer bir örnek yine ABD’de 23 Kasım 1995 Empire State yangınıdır (Bkz. Şekil 1.2). Çok katlı binanın uygun tesadüfler sayesinde, yangın kullanıcıların bulunmadığı teknik servislerin konumlandığı bodrum katta çıkması, binada can kayıplarına yol açmamıştır. Ancak bu olayda da yangının söndürülmesinde üstün gayret gösteren itfaiye teşkilatının, 40 kişilik bir personelle çalışma yürüttüğü, konu ile ilgili haber programlarında vurgulanmaktadır [BBC, 2002]. Aynı raporda, bir önceki yangın olayından farklı olarak, tahliye edilen insan sayısında bahsedilmektedir. ‘yüzlerce kişi’ ifadesi ile dile getirilen boşaltım faaliyetlerinin gecikmeli olarak yerine getirilemeyeceği kanısını güçlendirmektedir. Bu olayda da uygun tesadüflerin işlendiği açıkça ortadadır. Uygun tesadüfler varsayımını destekler diğer bir örnekte, yine ABD Philadelphia’da 5 Ocak 2000 32 katlı bina yangınıdır. Bu olayda da yangın bodrum kat yerine, çatı katında çıkmıştır. Bu koşullar altında, binanın derhal boşaltıldığı düşünülürse, raporda bahsedilen ‘yüzlerce kişi’ ifadesi bu konuda aksayan bir takım hususların varlığı konusunda yine endişeler yaratmaktadır. Nitekim, yangın durumunda değil, alarm verilmesi ve/veya tatbikatlarda ki binanın tümünün belirlenen zaman limitleri içinde boşaltılması şarttır. Bu olayda yangının ara katlarda olmaması, boşaltımın tamamen yangın olumsuz çevresel şartlarının bulunmadığı koşullarda gerçekleştiğini göstermektedir ki, boşaltım sürecinin gecikme yaşayacağını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 1.1. 23 Şubat 1991 Meridian Plaza yangını, Philadelphia [United States Fire Administration, 1991].



Şekil 1.2. 23 Kasım 1995 Empire State yangını, [BBC, 2002].

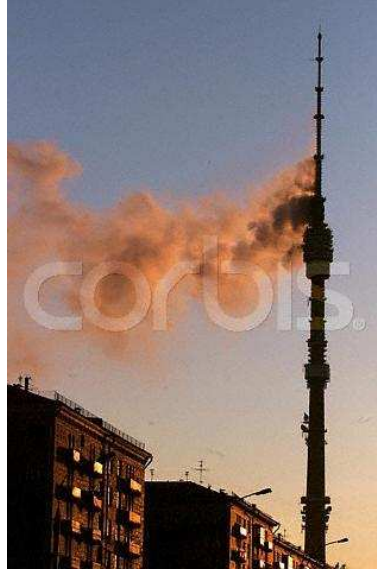
Uygun tesadüflerin bir araya gelmediği ABD’deki son yıllardaki tek yüksek bina yangını 18 Ekim 2003 Chicago Illinois AP yönetim binası yangınıdır (Bkz. Şekil 1.3). Ancak 1-2 saat sonra kontrol altına alınabilen bir ara kat yangınında (7-10 katlar arası) boşaltım esnasında 7 kişinin dumandan ağır olarak etkilendiği 6’sının da hayatını kaybettiği rapor edilmektedir [CNN, 2003]. Binanın 1965 yılında yapılmış olması, ayrıca sahip olduğu planlama standartlarının da yetersiz olduğu dolayısı ile boşaltım süresinin geciktiğini vurgulamaktadır. İtfaiye örgütünün üstün çabaları bu olayda da ölümlerin sınırlı sayıda kalmasına yol açmıştır.



Şekil 1.3. 18 Ekim 2003 Chicago, [RTE, 2003].

İtfaiye örgütünün üstün nitelikleri ile, binanın üstün planlama niteliklerinin eksiklik gösterebildiği durumlarda, boşaltım imkanlarının zafiyet göstermesinin sonuçları; uzak doğuda gelişmekte olan ülkelerin çok katlı bina yangınlarında açıkça görülmektedir.

23 Şubat 1997’de 37 katlı Bangkok Başbakanlık kulesinde 7. ve 10. katlar arasında çıkan yangının etkilediği binada, 3 kişinin hayatını yitirdiği 101 kişinin de yaralandığı belirtilmektedir [CNN, 2002]. Binanın birden fazla fonksiyona sahip olmasına –alışveriş, otel, büro- rağmen yangının otel büro katlarını etkilemesi düşük yangın yüklerini içermesi bakımından uygun tesadüflerin halen işlerlik gösterebildiğini desteklemektedir. Benzer şanslı bir diğer yüksek bina yangını, 28 Ocak 2000 Rusya’da Moskova Ostankino televizyon Kulesi yangınıdır (Bkz. Şekil 1.4). Binanın az kullanıcılı olmasına rağmen 3 kişinin ölümü engellenememiştir [BBC, 2002]. Ancak aynı raporda ölüm sayısının açıklanandan fazla olduğuna dair iddialara da rastlanmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde, olaydan ders alınması ve çalışma yürütülerek olumsuz koşulların düzeltilmesi yerine, olayın örtbas edilmesi oldukça yaygın bir uygulamadır. Bu olayda da yangınla ilgili detaylar son derece sınırlıdır. Son yılların en ölümcül yüksek bina yangını 8 Aralık 1997 Endonezya Jakarta 25 katlı Merkez Bankası yangınıdır. Şekil 1.5’de görüleceği üzere ara katlarda çıkabilecek bir yangın, ölüm bilançosunu, daha önce belirtilen olumlu ve şanslı koşulların olmaması nedeniyle, 14 kişiye yükselmektedir. Ders çıkarılacak diğer bir husus, Jakarta’daki çok katlı binanın, çok katlı sınıfında olmamasıdır. Bu açıdan bakıldığında, bina İstanbul metropolünde yer alan ofis binaları ile paralellikler göstermektedir. Bu binada ölümün sayısının yüksek olması, tamamen boşaltım sürecine dayandırılabilir. Nitekim, bina daha yüksek olsaydı, kullanıcılar binayı boşaltmadan, bina içindeki güvenli diğer katlara kaçarak, uygun tesadüflerin oluşabilmesi için zaman kazanılabilecekti.



Şekil 1.4. 28 Ocak 2000- Rusya’da Moskova Ostankino televizyon kulesi yangını [Corbis, 2000].

Tez yazarı ve danışmanı bu noktada, yangına maruz kalan yüksek binaların, akıllı sistemlere sahip olabilmelerine rağmen, ölüm ve yaralanma olaylarına sıklıkla rastlanabildiğinin altını çizmek istemektedir.



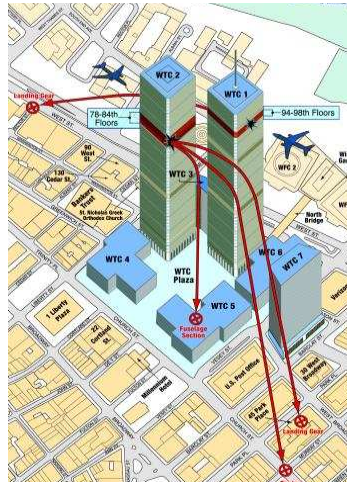
Şekil 1.5. 8 Aralık 1997-Endonezya’nın başkenti Jakarta’da 25 katlı Merkez Bankası kompleksinin kulesinde çıkan yangın, [Hürriyet, 1997].

Terör olayları neticesinde oluşan yangın olayları, yüksek binaların boşaltım verimliliğini gerçekte test edecek koşulları yapay olarak yaratmaktadır. Bilinçli ve düşünülerek yaratılan olaylar olduklarından, uygun tesadüflerin oluşması ihtimali

azalmakta, itfaiye örgütünün üstün çabaları da yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, bina her ne kadar yüksek planlama standartlarına uyularak inşa edilse de, bugüne kadar yeterince özen gösterilmeyen boşaltım süreci çalışmaları nedeni ile, genellikle önemli can kayıpları yaşanabilmektedir. Kötü durum muhakemesi ile aksini iddia eden analitik çalışmalar olmadıkça, tezde, ilgili binalar için aynı yargıya varılmaktadır. Terörizmin global ekonominin prestij göstergeleri olan yüksek binaları ya da siyasi otoriteyi temsil eden binaları tehdit altında bıraktığının ilk belirtileri, ABD’de Oklahoma Murrah Federal Binası saldırısı (19 Nisan 1995) (Bkz. Şekil 1.6), New York World Trade Center (WTC) binasının ilk bombalanması (26 Şubat 1993) ve Londra’da 42 katlı Nat-West Bankası saldırısı (17 Ocak 1996) olarak gösterilebilir. Her üç olayda da saldırı, patlayıcı yüklü araçların binanın girişinde ya da yakınında infilak etmesiyle gerçekleştirilmiştir. Nispeten az katlı olan Murrah Federal binasında (9 kat) bu saldırıda 168 kişinin hayatını yitirdiği bildirilmektedir [CNN, 1996]. 110 katlı WTC binasında ise 100000 kişinin yaralanmasına yol açmasına rağmen, sadece 6 kişinin duman zehirlenmesi ile hayatının kaybetmesi, yarattıkları mühendislik harikalarının mükemmelliği ile övünen bir kısım teknik çevrenin kendisine güven duymasını sağlamış ve bu uyarıların ciddi olarak ele alınmasını savunan araştırmacıları, dikkate almamışlardır. Bu duyarsızlığa idari otoritenin de iştirak etmesiyle, 11 Eylül 2001 saldırısı gelmiş (Bkz. Şekil 1.8 ve Şekil 1.9) binanın içinde bulunan 2800 kişi hayatını yitirmiştir [WTC FEMA Report, 2002]. Bu sayının da bildirilenden çok daha yüksek (3044 kişi) olduğu farklı çevrelerce rapor edilmektedir [NTV, 2003]. Kısacası, örtbas etme faaliyetleri hala devam etmektedir. İlk saldırıda duman boğulması ile yaşanan 6 ölüm, aslında binanın sınırlı bir bölümünden kaçmaya çalışan insanlar içinden çıkmıştır. Çünkü, uygun tesadüflerden yola çıkılarak, bina sakinlerinin çoğu habersiz ya da haberli, teknoloji harikalarına güvenerek üst katlarda beklemişlerdir. Bina kullanıcılarının tümünden boşaltım süreci içinde olduğuna dair hiçbir bulguya rastlanmamaktadır. Bunun yapılması halinde, ne tür sıkıntılarla karşılaşılacağı üzerine de, hiçbir çalışma yürütülmemiştir.



Şekil 1.6. Saldırı sonrası Murrah Federal Binası [CNN, 1996].



Şekil 1.7. 11 Eylül 2001, World Trade Center saldırısı, [WTC FEMA Report, 2002].



Şekil 1.8. World Trade Center saldırısı, [WTC FEMA Report, 2002].

Bu binanın ikinci saldırıya gelinceye kadar boşaltım güvenliği ile ilgili bir çalışmanın yürütüldüğüne dair bir bulguya literatürde rastlanmamaktadır. Bu durumu gözlemleyen ve istifade eden teröristlerin fırsat kaçırmadıkları ikinci saldırının planlanmasından anlaşılmaktadır. Saldırı ile ilgili rapor bulgularından, gökdelene ara katlardan saldırılmasının, zaten boşaltım zafiyeti çeken binanın, öngörülen yangın dayanım süresi aşılnca, çöktürülerek binanın içindekilerle birlikte yok edilmesinin amaçlandığı açıktır. Daha önceki olaylarda, zaman uygun tesadüflerin oluşması için çalışırken, bu olayda zaman uygun tesadüflerin oluşmaması için işlemiştir. Binanın 2 ile 2.5 saat yandıktan sonra yıkıldığı ve insanların bu zaman dilimi içerisinde tahliye edilemediği, herkesin bildiği bir gerçektir. Boşaltım saatlerle değil, dakikalarla ölçülen bir süreçtir.

Teröristler yolcu uçaklarını yakıt tankları tam dolu uçaklardan seçmişler ve bunları yönlendirdikleri kat yüksekliklerini, çarpma yönündeki komşu binaların kat yüksekliğinden güvenli bir yükseklikte ve çarpma noktasının üzerinde de yeterli sayıda kat bırakarak belirlemişlerdir. Yakıt binada öngörülen yangın yükünün üzerinde bir ısı gücü yaratmaktadır. Binayı yıkan ise, çarpma kotundaki katların mukavemetini yitirerek, yangın katlarının üzerinde yer alan kat ağırlığının altta kalan kısma uyguladığı darbe yükleridir. Bu hipotez yakın zamanda yayımlanan bir makale ile desteklenmektedir [Burgess, 2002].

WTC raporuna bakıldığında [WTC FEMA Report, 2002], 1. kulenin 94-98 katları arasından vurulduğu, 2. kulenin ise 74-84 katları arasından saldırıya uğradığı görülmektedir. İkinci kulenin saldırı yönünde yüksek bir bina olmaması, bu kulenin daha alçak bir ara kattan vurulabilmesini mümkün kılmıştır. İkinci kulenin birinci kuleden daha sonra vurulmasına rağmen, ikisinin de birbirini takip ederek yıkılmasının sebebi, ikinci kulenin yangın katlarının üzerinde daha fazla bir bina ağırlığı içermesidir. İkinci kuleye uygulanan darbe yükleri de kuşkusuz, birinci kuleye göre daha fazla olmuştur. Bu senaryoya göre bina içerisinde beklemek uygun bir strateji oluşturmamaktadır. Kimi kaynak, saldırı katları üzerindeki katlarda kişilerin kaçış yollarının bloke olduğu savunup yapılacak bir şey olmadığını iddia etse de, ölen kişilerin sadece bu katlarda yaşayan kişiler olduklarını söylemek mümkün değildir. O halde, yangının olumsuz şartlarının dahi oluşmadığı, çarpma katlarının altında yer alan bina bölümlerinden insanlar niçin 2-2.5 saat içinde binayı

boşaltamamışlardır? Açıktır ki, ölümler açıklandığı gibi, çökme sonucunda değil, binanın boşaltım verimliliğinin yeterince irdelenmemesi ve gerekli tedbirlerin zamanında alınmaması sonucu yaşanmıştır. Ayrıca, yangın dayanım süresi olarak bilinen bina strüktürünün dayanım süresi, barındırdığı insanların binayı güvenle terk etmesini sağlamasına hizmet etmemekte midir? O halde, 2-2.5 saat olarak belirlenen yangın dayanım süresince bina boşaltılabilmeliydi.

1.1. Yönetmeliklerde Boşaltım Süresinin Tahmini İle İlgili Problemler

Türkiye’de yürürlüğe giren 2002 Yangından Korunma Yönetmeliği’nde, tasarıma ilişkin düzenlemelerin, binada yangın çıktıktan sonra, yangını söndürmeye ve yangının yayılmasını engellemeye yönelik olduğu anlaşılmaktadır. Kaçışı kolaylaştıracağı düşünülen tasarım kriterleri ise, akış hesabına yönelik bağıntılarla değerlendirilmektedir [Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2002].

Bu yönetmelikte, kaçış yollarının belirlenmesinde binanın kullanım sınıfı, kullanıcı yükü, kat alanı, çıkışa kadar izlenecek yol ve çıkışların kapasitesi esas alınmaktadır. Her katta, o katın kullanıcı yüküne ve en uzun kaçış uzaklığına göre çıkış olanakları belirlenmektedir.

Söz konusu yönetmelikte, kaçış ve panik hesaplarında kullanılmak üzere, kullanıcı yoğunluğu konferans salonu, bekleme salonları gibi yerlerde 1.0 kişi/m², dans salonları, bar, oyun salonları ve benzeri yerlerde oturularak, 1.0 kişi/m², ayakta 2 kişi/m², büro ve hastanelerde 0.1 kişi/m², otoparklarda 0.033 kişi/m² ile sınırlandırılmaktadır. Çıkış kapıları, kaçış merdivenleri, koridorlar ve diğer kaçış yollarının planlaması 50 cm’lik genişlikten bir dakikada 40 insanın geçebildiği varsayımına göre yapılmaktadır. Bir metre genişlikten tahliye süresinin, kâgir binalarda 3 dakika, ahşap binalarda 2 dakika olması gerektiği kabulü ile boşaltım süresi tahmini belli bir çıkış genişliği için yapılabilmektedir. Çıkış kapısı sayısı, hesaplanan çıkış genişliğinin ikiye bölünmesi ile çıkan değere 1 eklenmek ve 0.50’den büyük kesirlerde bir üst değer alınmak suretiyle hesaplanmaktadır.

Örneğin yönetmelik 1000 m²'lik bir süper marketin kullanıcı yoğunluğunun 2000 kişi olması durumunda, çıkış genişliğini $2000/(3 \times 40) \times 0.5 = 8.34$ m, çıkış sayısını ise, $8.34/2 + 1 = 5$ olarak belirlemektedir [Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2002].

Yönetmelik çıkışa götüren çıkış mesafelerini de her bina tipi ve donanımına göre farklı uzunluklarda belirlemektedir (Bkz. Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Ofis binaları için olması gereken en uzun çıkış mesafeleri [Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2002].

Tek yönde en fazla uzaklık		İki yönde en fazla uzaklık	
Sprinklersiz (m)	Sprinklerli (m)	Sprinklersiz (m)	Sprinklerli (m)
15	30	45	75

Yönetmelikte, kaçış yolu genişliğinin 1 m'den az, kaçış merdivenlerinin ise 2 m'den fazla olamayacağı ifade edilmektedir. Kapı genişliklerinin 80-120 cm arasında olması istenmektedir [Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2002]. Bu kurallar serisinin fazlaca bir bilimsel dayanağı olmadığı ve tamamen tecrübe ve gözleme dayalı olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, binaların planlanması sırasında tasarımcıyı katı birtakım kurallara dayalı olarak tasarım yapmaya zorlamaktadır. Aslında aranan çoğu kriterin işe yaramadığı, bu kriterlerin temelini oluşturan yönetmelik sahibi gelişmiş batılı ülke araştırmalarının da rapor edilmektedir [Horasan, 1999; Notake, 2001; Chow and Lui, 2002; Zhi et. al., 2003,]. Yeni bilimsel gelişme ve bulguları değerlendirebilen, performans dayalı bina yönetmeliklerinin gelişmiş batılı ülkelerde devreye girmesiyle, bina boşaltım problemlerinin de benzer bir yaklaşımla değerlendirilmesi gereği açıktır. Özellikle Bölüm 1.1'de verilen olayların değerlendirilmesi söz konusu olduğunda, yangın yönetmeliklerindeki katı kriterlerin etkinliklerinin sorgulanması mutlaka yapılmalıdır.

1.2. Amaç, Önem ve Sınırlılıklar

Türkiye'de hızla gerçekleşen gelişen hizmetler sektörü, rant talebi, yüksek arsa maliyeti ve mal sahibinin yönlendirmesi ile çok katlı ofis binalarına yönelmektedir. İstanbul'da 1985 yılından sonra yapımı hızlanan yüksek binalar Taksim-Gümüşsuyu, Beşiktaş-Levent-Maslak aksı, Mecidiyeköy-Zincirlikuyu aksı, Zeytinburnu ve

Ataköy bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Aynı zamanda İstanbul yüksek bina sayısı itibari ile dünyada 4. sıradadır. İstanbul'da 13 katın üstünde toplam 2102 adet bina bulunduğu rapor edilmektedir [Fire Tactic, 2003].

Mesai saatlerinde, bu binalarda toplam olarak yaklaşık 10 bin kişinin çalıştığı tahmin edilmektedir [Kayar, 2003]. Bu koşullar, insan yoğunluğunun fazla olduğu bu binalarda boşaltım süresi ve verimliliğinin önemli bir araştırma konusu olduğunu işaret etmektedir. Ancak bu binalar için ayrıntılı bir boşaltım süresi analizi yapıldığına ait bir bulguya rastlanmamaktadır. İstanbul'da yer alan 1985'ten sonra yapılmış yüksek binaların sıralaması Tablo 1.2'de verilmektedir.

20 Kasım 2003 tarihinde İstanbul'da 15 katlı Levent HSBC Levent Genel Müdürlük binasına planlanan bombalı saldırı birden bire bu gerçeği gün ışığına çıkarmaktadır. Bölüm 1.1'de verilen terörist saldırı olaylarına benzer olan bu saldırının sonucunda yoldan geçenler ile birlikte 11 kişinin öldüğü rapor edilmektedir [NTV, 2003] [Bkz. Şekil 1.9].

Tablo 1.2. İstanbul'da 1985'ten sonra yapılan yüksek binalar [Erzene, 1991].

Bina adı	Yüksekliği (m)	Kat adedi	Yılı
İş Bankası Tower 1	181	52	2000
Adabank Tower	158	39	1993
Sabancı Center 2	140	39	1993
Maya Tower	100	38	1989
Beybi Giz Plaza	126	36	1996
İş Bankası Tower 2-3	118	36	2000
Tat Tower 1 ve 2	143	34	2000
Sabancı Center 1	130	34	1993
Tefken Towel	135	32	2003
The Plaza Otel	75	31	1994
Maslak Park Plaza	100	28	1998
Metro City	132	27	2004
Giz 2000 Plaza	95	27	1999
Yapı Kredi Tower	120	25	1995
Bank Ekspres Tower	125	24	2000
Harmancı Giz Plaza	80	24	2000
Nurol Plaza	80	23	1997
Spring Giz Plaza	84	22	1992
Levent 2002 Residence 1 ve 2		22	2003
Yapı Kredi Plaza 1-2-3	82	20	1992
Dizayn Tower	81	20	2000
Uso Center	70	20	2000
Garanti Plaza 1-2	70	18	1993
Ayazağa Ticaret Merkezi	60	18	1992
Toprakbank Yönetim Merkezi		16	2001
Hsbs Towel	75	15	1998



Şekil 1.9. 20 Kasım 2003 terörist saldırı sonrası İstanbul HSBC Genel Müdürlük Binası, [NTV, 2003].

Ancak, diğer benzeri gelişmekte olan ülkelerin bakış açısı ile, bu binanın ve içindeki insanların açık akıbeti tezin yazıldığı tarih itibari ile netlik kazanamamıştır. Netlik kazanamayan hususlar aşağıda sıralanmaktadır.

1. Bombalı araç tam olarak nerede infilak etmiştir?
2. Araç binanın içine doğru yönelmiş midir? Binanın içine ulaşmış ise, bina içinde nereye kadar ilerleyebilmiştir?
3. Ölen insan sayısının ne kadarı olay anında HSBC bankasında bulunmaktaydı?
4. Banka çalışanlarının yaralanma oranı nedir? Hangi etkilere karşı tedavi görmüşlerdir?
5. Binada patlama sonrası yangın çıkmış mıdır? Çıktıysa hangi bina bölümleri etkilenmiştir? Yangının olumsuz çevre koşulları hangi katlara kadar ulaşabilmiştir?
6. Patlama neticesinde ve sonrasında yüksek kitleyi taşıyan ana kolonların yük taşıma kapasitesi nedir? Bina yıkılma tehlikesi geçirmiş midir? Halen yıkılma tehlikesi var mıdır?
7. Uygun tesadüfler sebebiyle mi? yoksa bina gerçekten kendi kabiliyetleri ile mi ayakta durmayı başarabilmiştir?
8. Binada boşaltım nasıl sağlanmıştır? Hangi rota kullanılmıştır? Boşaltım süresi nedir? Kullanıcılar boşaltım esnasında ne tür sıkıntılar yaşamışlardır?
9. Boşaltım süresi esnasında kaçış yolu üzerinde, patlama ya da yangın nedeni ile oluşmuş aksaklıklar var mıdır? Varsa nelerdir?
10. Boşaltım süresi esnasında kaçış yolu üzerinde, binanın kendisinin sebep olduğu aksaklıklar var mıdır? Varsa nelerdir?

11. Çalışanların boşaltım esnasındaki fiziksel ve psikolojik şartları nelerdir? Panik durumu ve olaya reaksiyon gösterme nasıl ve hangi hızda gerçekleşmiştir?

Bu soruların cevapları hiçbir zaman bilinemeyecektir. Tez bilimsel araştırma araçlarını kullanarak, bir metodoloji çerçevesinde, yüksek bina boşaltım davranışının özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Tezde, Sabancı Center'a ait birinci yüksek kulenin boşaltım verimliliğinin araştırılması üstlenilmektedir. Çalışma, yetkililerin güvenlik nedeni ile, açıklanmasına izin verilen bilgi ve çalışma sahaları ile sınırlandırılmaktadır. Bu sınırlamalardan Bölüm 3.2'de bahsedilmektedir.

Çalışmanın temel önemi, kaza ya da terörist saldırı sonucunda çıkacak bir yangında, boşaltım süresini ve can kayıplarını minimize edecek yapısal mekanizmaların belirlenmesinde sağlayacağı katkı olacaktır.

2. BOŞALTIM SÜRESİNİ ETKİLEYEN KRİTERLER

2.1. Boşaltım Süresinin Belirlenmesinde Toksikoloji

Yangın esnasında ısı alev duman ve zehirli gazlardan oluşan yanma ürünü ortaya çıkmakta ve bu ürünler insanların fizyolojik yapısını etkilemektedir. Duman içinde havada asılı olan uçuşan partiküllerin büyük kısmı öldürücü olmaktadır. Duman partikülünün büyüklüğü, onu teneffüs edenlerin akciğerinde yaratacağı tahribatı arttırmaktadır. Yanma sonucunda ortaya çıkan yoğun duman, insanın fizyolojik yapısına zarar vermekle kalmamakta, aynı zamanda görüş mesafesini de azaltarak binada bulunan insanların kaçışını zorlaştırmaktadır.

Duman içerisinde yer alan en öldürücü etki, yanma sonucu oluşan zehirli gazlardır. Yangın istatistiklerinden (Bkz. Tablo 2.1), yangın sonucunda ortaya çıkan ölüm olaylarının çoğunda insanların yanarak değil, duman zehirlenmesi ile öldükleri bilinmektedir [Holborn, et. al., 2003].

Tablo 2.1. Kasıtsız konut yangını ölüm nedenleri [Holborn, et. al., 2003].

Ölüm nedeni	Yangından ölen kişi sayısı	Ölüm %
Duman teneffüsü	101	36
Boğularak ölmek	8	3
Bronş yangısı	8	3
Yanma	53	19
Kombine yanma+zehirlenme	69	25
Diğer	20	7
Kalp krizi, felç, düşmeye bağlı yaralanma	20	7

Yangının bina kullanıcısına olan etkisi üç aşamada gerçekleşmektedir:

1. İlk aşama, yangının büyüdüğü ve kullanıcının duman ve ısıdan etkilenmediği aşamadır. Bu aşamada hayatta kalmayı ve kaçışı etkileyen en önemli faktör, psikolojik davranışla ilgilidir. Örneğin kişinin tehlikeye karşı ikaz edilme şekli, kişinin alarma tepkisi (oturduğu yerde kalması, kaçması ya da yangınla mücadele etmesi) ve çevresindekilerle etkileşimi bu evredeki kaçış süresini belirleyen en önemli unsurlardır.

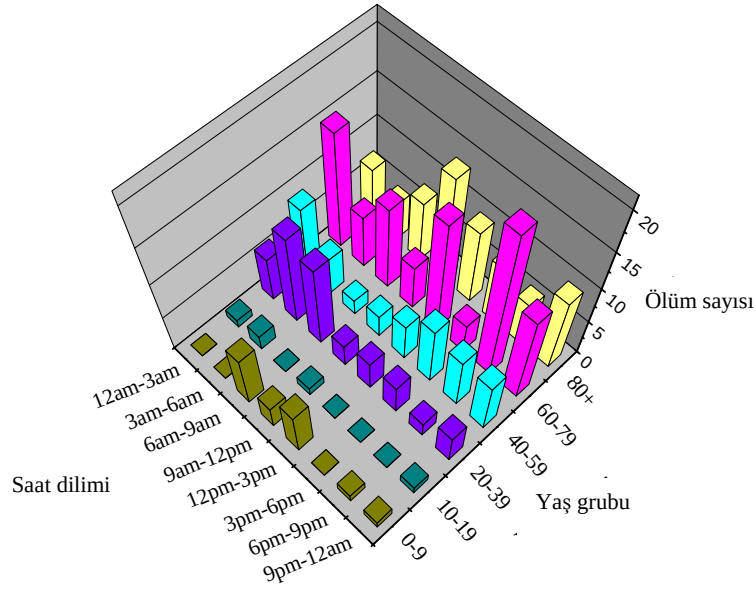
2. İkinci aşama, kullanıcının dumana, ısıya ve toksik gazlara maruz kaldığı aşamadır. Bu aşamada, psikolojik faktörlere, tahriş edici ve narkotik gazların etkisi eklenerek, kullanıcının kaçış süreci daha karmaşık bir hal almaktadır.
3. Üçüncü aşama, yangında ölümün gerçekleşmesinin kaçınılmaz olduğu aşamadır. Bu aşamada, ölümler genellikle toksik gaz zehirlenmesinden, ya da sıcaklık maruz kalmaktan ve küçük bir kısım da Tablo 2.1’de verilen ikincil faktörler nedeni ile oluşmaktadır.

Yanma ürünü olan zehirleyici bir çok gazın öldürücülük derecesi, laboratuvar ortamında hayvan denekler üzerinde yapılan deneylerle ölçülmektedir. En etkili öldürücü gazlar, karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN) ya da bu gazların yüksek sıcaklıklarda oluşan bileşikler olarak bilinmektedir.

Benzer şekilde, yanma ürünü zehirli gazların yol açtığı şuur kaybı dozları da, laboratuvar ortamında hayvan denekler üzerinde yapılan deneylerden bazen de gerçek yangın facialarından elde edilebilmektedir. Dumanın içerdiği gazların şuur kaybı yaratması için gerekli olan doz ve yangının vuku bulduğu zaman dilimi kaçışı etkileyen önemli parametrelerdir [Purser, 1995a]. Gündüz ışığında meydana gelen yangın olaylarında, kişilerin dumanın optik yoğunluktan etkilenmesi minimum iken, gece meydana gelen bir yangında kişilerin görüş mesafeleri önemli oranda azalmakta ve kaçışı olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 2.1’de, yaş gruplarına ve günün saatine göre yaşanan ölüm vakası sayıları verilmektedir.

Yangınlarda, dumana ve ısıya maruz kalmanın yarattığı fizyolojik etkiler sonucunda, farklı derecelerde bilinç kaybı meydana gelmektedir. Bu fizyolojik etkiler oluşma sırasıyla aşağıda verilmektedir:

1. Görüş bozukluğu ve gözlerde yanma.
2. Solunum güçlüğü ya da solunum organlarının tahriş olması.
3. Solunan toksik gazların uyuşukluk hissine ve bilinç kaybına neden olması.
4. Deride şiddetli acı ve yanma ya da hipetermi (vücut sıcaklığının 37° üstüne çıkması).



Şekil 2.1. Saat dilimi ve yaş grubuna göre ölüm dağılımı, [Holborn, et. al., 2003].

Kullanıcının karşılaşacağı ilk unsur dumanın optik yoğunluğu ve tahriş edici dumandır. Tahriş edici dumanın yarattığı ağrı ve yanma ile görüş kısıtlanması kaçış hızını oldukça yavaşlatmaktadır. Yanma hissi ve ağrının kaçış hızını ne oranda yavaşlatacağı ile ilgili bir bulguya literatürde rastlanmamaktadır. Sadece dumanın optik yoğunluğunu tanımlayan bir takım bağıntılar geliştirilmiştir. Duman optik yoğunluğu ile tanım ve bağıntılar Bölüm 2.2.2.2’de anlatılmaktadır.

Toksikoloji bilimi, fiziksel bulgu ve teorik modellere dayanarak, baygınlık ve ölüm süresini tahmin edebilmektedir. Bu tahminler, kişinin RMV değerine, yani kişinin dakikada soluyabildiği gaz hacmine ilişkilendirilmektedir.

Yangında acil boşaltım süresinin gerçekçi bir modellemesi söz konusu ise, toksikoloji bilimi ile ilgili aşağıda sıralanan verilerin kaçış modellerinde değerlendirilmesi şarttır:

1. Karbon monoksit (CO) konsantrasyonu.
2. Hidrojen siyanür (HCN) konsantrasyonu.
3. Karbon dioksit (CO₂) konsantrasyonu.

4. Oksijen (O₂) azalması.

Yanma sonucunda, yukarıda verilen zehirleyici ana gazların yanı sıra, daha düşük konsantrasyonlarda da olsa, çok sayıda toksik bileşik oluşabilmektedir. Bazı belli başlı yanma ürünlerinin yol açtığı zehirli bileşikler Tablo 2.2 de verilmektedir. Tablo 2.2 de verilen tüm zehirli gazların kaçış modellerinde değerlendirilmesi ideal olsa da, insan üzerindeki etkileri literatürde henüz tam olarak bilinmemektedir [Purser, 1995]. Tezin hazırlandığı zaman itibariyle, literatürde sadece bina yangınlarında en etkili oldukları bilinen zehirli yangın ürünlerinin etkisi değerlendirilebilmektedir.

Tablo 2.2. Çeşitli malzemelerin yanmasıyla ortaya çıkan toksik bileşikler, [Butcher and Parnel, 1979].

Yanma Ürünü (Toksik Gaz ya da Buharı)	Kaynak Malzeme
Karbon dioksit (CO ₂)	Karbon içeren bütün yanıcı malzemeler (ahşap, kağıt, pamuk, yün, plastik, kauçuk, vs).
Karbon monoksit (CO)	
Azot dioksit (NO ₂)	
Azot monoksit (NO)	
Azot tetra oksit (N ₂ O ₄)	
Hidrojen siyanür (HCN)	Yün, ipek, deri, azot, içeren plastikler, suni ipek, akrilik, melamin, naylon
Akrolein (C ₃ H ₅ O)	Odun, kağıt, kauçuk, yün
Kükürt dioksit (SO ₂)	
Fosgen (COCl ₂)	PVC, (polivinil klorür), yangın geciktirici
Hidroflorik asit (HF)	
Hidrobromik asit (HBr)	
Hidroklorik asit, (HCL)	
Amonyak (NH ₃)	
Form aldehit (HCHO)	Melamin, naylon, üre formaldehit reçinesi, ipek
Asetaldehit (CH ₃ COH)	
Benzen (C ₆ H ₆)	Fenol formaldehit, odun, naylon, polyester reçinesi, kağıt, pamuk
Formik asit (HCOOH)	Polisteren
Metil Alkol (CH ₃ OH)	Ahşap, kağıt, pamuk
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	Kağıt, ahşap, pamuk
Asetik asit (CH ₃ COOH)	Kauçuk, yün
	Pamuk kağıt

Toksik gazların yarattığı solunum yolları hasarı, yanma ürünlerinin suda çözünürlük özelliğine göre değişmektedir. Suda yüksek çözünürlük gösteren maddelerin (amonyak (NH₃), kükürt dioksit (SO₂), hidrojen flüorür (HF), akrolein (C₃H₅O) gibi) açığa çıkması, üst solunum yollarında kısa sürede tahriş yaratarak, akut solunum yetmezliğine yol açabilmektedir. Suda düşük çözünürlüğü olan klorür (CL), fosgen (COCl₂), azot monoksit (NO) gibi toksik bileşikler ise solunum

yoluyla sinsi seyirli, daha uzun süreyle yayılan akciğer sorunları ortaya çıkarmaktadır [Akçay ve Eyüboğlu, 2003].

Zehirli gazların insan üzerindeki fizyolojik etkisinin şiddeti, gazın hangi konsantrasyonda ve ne süreyle teneffüs edildiği ile, yani alınan doz ile belirlenmektedir. Bu durumda, deneklerin RMV kapasiteleri de önemli bir belirleyici rol oynamaktadır.

Toksik gaz zehirlenmesi, ya çok yüksek konsantrasyondaki bir gaza kısa süreli maruz kalındığında ya da düşük konsantrasyondaki gaza uzun süre maruz kalındığında meydana gelmektedir. Böylece Denklem (2.1)'de ifade edilen doz bağıntısının, sabit bir oran olduğu, 'Haber' kuralına bağlı olarak doğrulanmaktadır [Purser, 1995].

$$W = C \times t \quad (2.1)$$

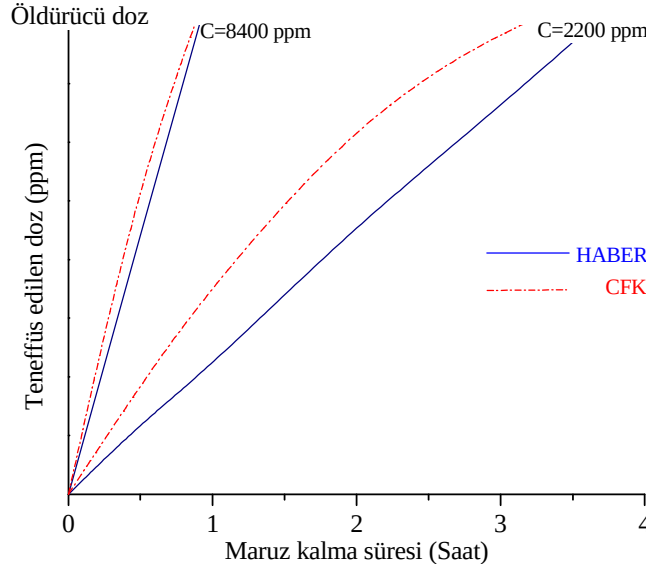
Burada 'C' konsantrasyonu, 't' ise maruz kalınan süreyi belirtmektedir. Fizyolojik hasarın, ölüme yol açması için gerekli olan referans gaz konsantrasyonu, 'LC₅₀', 4 saat zehirleyici gaza maruz kaldıktan sonra denek sayısının %50'sinin 4 gün içinde ölmesine yol açan bir sınır değeri olarak belirlenmektedir. Bu durumda ölüme sebebiyet verecek zehirleyici gaz dozu, 'W', Denklem (2.2)'de verilen bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$W_{50} = LC_{50} \times t_{50} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de 50 indisi tehlikeli dozunun belirlenmesinde kullanılan referans denek ölüm yüzdesini temsil etmektedir.

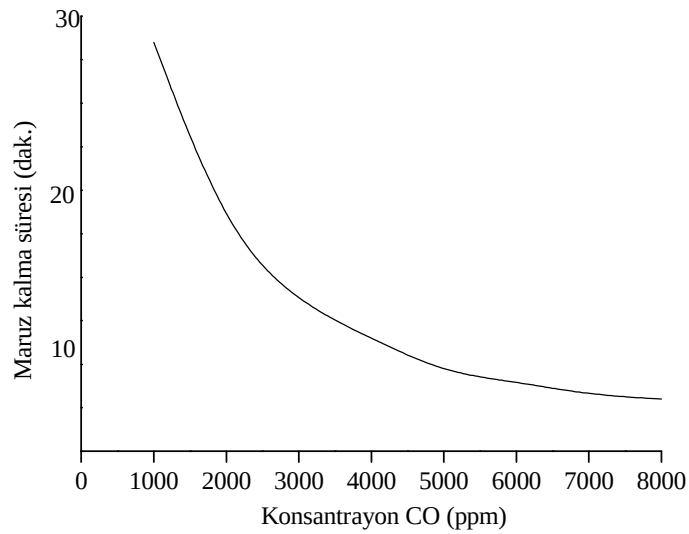
Denklem (2.1) ve (2.2) bütün zehirli gazlar için geçerli değildir. Uçucu özelliği olan karbon monoksit (CO) için Denklem (2.3) kullanılarak öldürücü doz seviyesi hesaplanmalıdır.

$$W = C \left(1 - e^{-tk} \right) \quad (2.3)$$



Şekil 2.2. CFK-Haber doz kuralı karşılaştırması.

Denklem (2.3)'te 'W' vücutta bilinç kaybı oluşturacak tehlikeli dozu, 'C' teneffüs edilen konsantrasyonunu, 't' maruz kalma süresini, 'k' faktör sayısını ifade etmektedir. Denklem (2.3) aynı zamanda Coburn-Forster-Kane denklemi olarak ta anılmaktadır [Purser, 1995]. Şekil 2.2'den görüleceği üzere karbon monoksit (CO) konsantrasyonu fazla iken eğri Haber Kuralı'nda olduğu gibi, neredeyse lineer bir gelişim izlerken, konsantrasyon azaldıkça ilişki eğriselleşmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda, lineer modellerin, teneffüs edilen karbon monoksit (CO) miktarının belirlenmesinde kullanımın ciddi bir hataya neden olmayacağını ifade etmektedir [Purser, 1995].



Şekil 2.3. Sabit doz altında (27000 ppm dak.) konsantrasyon-süre ilişkisi.

İleri boşaltım modellerinde, ve yangın olaylarının değerlendirilmesinde kişinin maruz kaldığı zehirleyici doz, ölüme ya da bilinç kaybına yol açan dozun belirli bir oranı ‘FED’ (fractional effective dose) olarak ifade edilmektedir (Bkz. Denklem (2.4)). ‘FED’ Denklem (2.4) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$FED = \frac{W}{W_{50}} \quad (2.4)$$

Literatürde, ‘FED’ oranı, baygınlık sınırı, ‘FID’, ya da ölüm sınırı, ‘FLD’, temel alınarak iki ayrı notasyonla ifade edilebilmektedir. Bu oranlar birime ulaştığında kişinin hareket kabiliyetinin tamamen tükendiği, ya da öldüğü varsayılmaktadır.

Bina yangınlarında ortaya çıkan zehirli gazlar, insana olan etkilerine göre iki sınıfta incelenebilmektedir:

1. Tahriş edici gazlar.
2. Narkotik gazlar.

2.1.1. Tahriş Edici Gazlar

Tahriş edici gazlar, deri ve solunum yollarında tahrişlere yol açmaktadır. Bu, gazların kimyasal bileşikleri, hangi maddelerin yanma ürünü oldukları; ve 30 dakika ile 4 saate maruz kalmada tehlikeli doza ulaşmak için gerekli konsantrasyonları Tablo 2.3’te verilmektedir.

Tahriş edici gazlar, maruz kalma sırasında ve sonrasında iki kademedede insan hareketlerinin kısıtlanmasına yol açmaktadır; göz, üst solunum yolu ve akciğerleri etkileyen acı verici tahrişin neden olduğu baygınlık, tahriş edici gazların akciğerlere nüfus etmesi sonucu akciğerlerde ödem oluşması ile meydana gelen bilinç kaybı, ve ardından 6 ile 24 saat içinde oluşan ölüm. Tahrişe neden olan gazlar inorganik asidik gazları HCL, SO₂, NO vs. (Hidro klorür), organik moleküler ağırlığı az olan aldehitleri, formaldehit ve akrolin v.s. içermektedir. Duman içerisinde yirmiden fazla tahriş edici meteryal saptanmaktadır. Geri kalanlar henüz anlaşılamamıştır.

Duyuları etkileyen tahriş edici gaz konsantrasyonu gözlerde, burunda ve boğazda yanmaya neden olmaktadır. Daha sonra solunum yollarında acıya ve buna bağlı olarak da solunum güçlüğü oluşmaktadır. Bu etkiler binadan kaçış sırasında kullanıcıyı yavaşlatabilmekte ya da kullanıcının kaçış verimini düşürebilmektedir. Bina yangınlarında yangın olarak ortaya çıkan inorganik asidik gazlardan hidrojen klorür (HCL) için bu konsantrasyonun yaklaşık olarak 100 ppm ile 500 ppm arasında değiştiği belirlenmektedir (Bkz. Tablo 2.3) Ancak 1000 ppm ve üstündeki konsantrasyonlarının kaçışı ciddi biçimde engelleyebileceği rapor edilmektedir.

Tablo 2.3. Tahriş edici yanma ürünlerinin hassasiyet oranları [Purser, 1995].

Tahriş edici gaz	Fareler için 4 saatte tehlikeli doz konsantrasyonu RD ₅₀ (ppm)	İnsanlarda tahriş konsantrasyonu (ppm)	Memeliler için 30 dak. tehlikeli doz konsantrasyonu LC ₅₀ (ppm)	LC ₅₀ /RD ₅₀
Toluen	0.20	1.0	100	500
diizosiyanit				
Akrolin	1.7	1-5.5	140-170	91
Formaldehit	3.1	5-10	700-800	242
Klor	9.3	9-20	100	11
Krotanaldehit		4-45	200-1500	
Akronolitrit		>20	4000-4600	
Pentenon			1000	
Fenol		>50	400-700	
SO ₂	117	50-100	300-500	3
NH ₃	303	700-1700	1400-8000	16
HF		120	900-3600	
HCL	309	100	1600-6000	12
HBR		100	1600-6000	
NO	349	80	60-250	0.4
Stiren	980	>700	10000-80000	46
Asetaldehit	4946	>1500	20000-128000	15
Etil alkol	27314	>5000	400000	15
Aseton	77516	>12000	128000-125000	2

Tahriş edici gazların binadan kaçış aşamasında kişileri iki şekilde etkileyeceği araştırmacılarca iddia edilmektedir [Purser, 1995]:

1. Kişiler tahriş edici gazın gözlere ve üst solunum yollarına yaptığı etki ile bağımlılık geçirebilmektedir.
2. Tahriş edici gazların kaçışı engelleyen bir etkisi olmamaktadır, aksine kişilerin kaçması için uyarıcı olabilmektedir.

Ancak bu konuda yeterli bilgi olmadığından, kesin bir yargıya varabilmek mümkün olmamaktadır [Purser, 1995]. Purser, [1995], yangına maruz kalmış kişilerle yapılan röportajlarda sonuçların birbirleriyle çelişkili olduklarını rapor etmektedir. Bu röportaja göre, kimi denekler yoğun duman altında büyük rahatsızlık yaşamadıklarını belirtirken, diğerleri, duman dolu bir ortamda solunum güçlüğü çektiklerini belirtmektedirler. Bu durum yangının niteliğine ve kişiye bağlı olarak tahriş edici gaz etkisinin farklı olabileceğini göstermektedir.

Tahriş edici gazlara maruz kalmanın yaratacağı etkiler tüm memeliler için aynıdır. Bu nedenle tahriş edici gazların etkisini incelerken hayvan denekler kullanılmaktadır [Purser, 1995].

Tahriş edici gazlar gözlerde acı, yaşarma ve istemsiz olarak göz kırpmaya neden olurken burun, boğaz ve ağızda yanma hissine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra çok yüksek konsantrasyonlarda bu etkiler şiddetli olarak ve hızlı bir şekilde meydana gelmekte, üst solunum yollarında ve boğazda spazma neden olmaktadır. Bu etki ciğerlerin etkilenmesi ile soluma hızını arttırmakta ve zehirli diğer gazların teneffüsünü hızlandırarak, şiddetli öksürük yaratmak suretiyle hareket hızını ciddi biçimde azaltmaktadır.

Tahriş edici gazların insan sağlığına verdiği zararı tahmin etmek ve bunu matematiksel olarak ifade etmek aşağıda verilen nedenlerden dolayı oldukça güçtür.

1. Duyuları etkileyen tahriş edici gazların belli bir eşik noktası yoktur. Kaldı ki tahriş edici gazların, baygınlık yapan ve bilinç kaybına neden olan etkisi gözlenmemiştir ve çok yoğun olmadığı durumlar dışında öldürücü olmadığı bilinmektedir. Tahriş edici gazlar için eşik noktası gazların akciğeri etkilemesi olarak belirlenebilir. Ancak bu durumun oluşabilmesi için yangının süresinden daha uzun maruz kalma süreleri gerektiği gözlemlenmektedir.
2. Yangınlarda, tahriş edici gazlar tam olarak tanımlanamamıştır. Tahriş edici gazların hayvan denekler üzerindeki tahriş edici etkisi ile yanma ürünleri arasında zayıf bir korelasyon olduğu rapor edilmektedir [Purser, 1995].

3. Tahriş edici gazın dozu, konsantrasyonu ve teneffüs süresi arasında bir ilişki belirlenmemektedir.

Bu olumsuzluklara rağmen tahriş edici gazların etkisini tahmin eden bazı matematiksel modeller mevcuttur. Bu ampirik modeller hayvan deneklerin küçük ölçekli testlerine dayanmaktadır.

Duyuları etkileyen tahriş edici gaz ölçümleri fareler üzerinde yapılan RD₅₀ testlerine dayanmaktadır. RD₅₀ laboratuvarlar deneyleri, kemirgenlerin %50 sinde solunum yollarında tahrişi meydana getiren konsantrasyon miktarının istatistiksel olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yapılan test sonuçları, solunum yollarında meydana gelen tahrişler ile gözlerde meydana gelen tahrişler arasında bağıntı olduğunu gözlenmektedir [Purser, 1995].

Uzun süreli maruz kalmalarda akciğerlerde meydana gelen ödemin insan sağlığına verdiği zarar fare ve sıçan deneylerinden elde edilen LC₅₀ ondört saat zehirleyici gaza maruz kaldıktan sonra deneklerin %50'sinin dört gün içinde öldükleri bu deney neticelerinden bilinmektedir [Purser, 1995]. Deney bulguları aşağıda verilen hususları özellikle desteklemektedir:

1. Duyuları etkileyen tahriş, dumana maruz kalındığında, birdenbire ortaya çıkmaktadır ve maruz kalma süresinin artması durumunda, etkilerin artmasında bir değişiklik olmamaktadır.
2. Akciğerlerde ödeme ve iltihaba neden olan tahriş edici gaz ancak birkaç saat teneffüs edildikten sonra etkili olmaktadır. Doz değerlendirmesinde Haber kuralı geçerlidir.
3. Bina yangınlarında düşük konsantrasyonlarda tahriş edici gaz oluşmaktadır. Akciğer ödemi ve iltihap 30 dakika süreyle 10 mg/L tahriş zehirli gaza maruz kalındığında oluşmaktadır. Bu durumda doz miktarı 300 mg/L.dak. olarak belirlenmektedir.
4. Duyularda ve akciğerlerde tahrişe neden olan gaz konsantrasyonu alevsiz yanma aşamalarında ortaya çıkmaktadır. Normal yanma aşamasında tahriş edici gaz genellikle akciğer ödemi ya da iltihabına yol açmaktadır.

Eldeki bilgiler, tahriş edici gazların, gözlerde ve ciğerlerde tahrişe neden olan dozları tahmin eden modellerin yaklaşık sonuçlar çok yaklaşık sonuçlar verdiğini ve gerçek durumu yansıtmakta zayıf kaldığını söyleyebilmekteyiz.

Tablo 2.4. 30 dakika solunmasının tahriş yaratma konsantrasyonları.

Toksik Gaz	Konsantrasyon (ppm)
HCL	200 ppm
HBr	200 ppm
HF	120 ppm
SO ₂	30 ppm
NO ₂	25 ppm

Modeller genellikle FED oranına ve Tablo 2.4 ve 2.5'te verilen deneysel dozlara göre geliştirilmektedir. Tahriş edici gazların birlikte bulunmaları halinde FED oranlarının kombine değeri Denklem (2.5)'te ifade edilmektedir. Burada 'FIC' her gazın tahriş edici 'FED' oranını temsil eden değişken olup indisler tahriş edici gazın cinsini belirtmektedir. Tüm gazların kombine konsantrasyonu 'FIC_{irr}' birimden yüksek olması halinde kaçış güçlüğüne oldukça artacağı varsayılmaktadır.

$$FIC_{irr} = FIC_{HCL} + FIC_{HBR} + FIC_{HF} + FIC_{SO_2} + FIC_{NO_2} \quad (2.5)$$

Tahriş edici gazların akciğerlerde ödem ve iltihap yaratması için 30 dakika teneffüs edilmesi ile gerekli olan konsantrasyonlar Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.5. 30 dakika solunmasının ödem yaratma konsantrasyonları.

Toksik gaz	Konsantrasyon (ppm)
HCl	3800 ppm
HBr	3800 ppm
HF	2900 ppm
SO ₂	400 ppm
NO ₂	170 ppm

Tahriş edici gazların ölüme yol açması için gerekli kombine 'FED' oranı 'FLD_{irr}' Denklem (2.6)'dan benzer bir bakış açısı ile hesaplanmaktadır.

$$FLD_{irr} = FLD_{HCL} + FLD_{HBR} + FLD_{HF} + FLD_{SO_2} + FLD_{NO_2} + FLD_{org} \quad (2.6)$$

Hesap yöntemlerinin güvenilir olmaması ve kaçış üzerinde etkilerinin fazla önemli olarak kabul edilmemesi tahriş edici gazların etkisinin ‘buildingEXODUS’ yazılımında değerlendirilmemesine neden olmaktadır.

2.1.2. Narkotik Gazlar

Narkotik gazlar, merkezi sinir sistemini ve kardiovasküler sistemi etkileyerek önce takatsizliğe sonra ölüme sebep olurlar. Yanma sonucu oluşan en belli başlı narkotik gazlar karbon monoksit (CO) ve hidrojen siyanür (HCN) dür. Karbon monoksit (CO) karbon içeren maddelerin yanması sonucu oluşan ve her tür yanma olayında karşılaşılan toksik bir üründür. Buna karşılık hidrojen siyanür (HCN), sadece nitrojen içeren materyallerin yanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Poliüretan köpükleri, melamin, naylon, yün ya da akrilik hidrojen siyanürü (HCN) yanma ürünü olarak ortaya çıkaran belli başlı yapı malzemelerindendir. Siyanür, kanda belli bir oranı aşmadığı takdirde ölçülememektedir, ve zehirleyicilik özelliği karbon monoksitten (CO) 40 kat fazladır [Purser, 1988]. Ortamda %5’ten yüksek konsantrasyonda karbondioksitin bulunması ve hatta oksijen eksikliğinin de narkotik etki yarattığı bilinmektedir.

2.1.2.1.Karbon Monoksit (CO)

Sternbach and Varon, [2003] her yıl sayısı 10000 ile 40000 arasında değişen kazazedelerin, günlük aktivitelerini yerine getirirken, karbon monoksit (CO) zehirlenmesine uğradıkları, acil servis kayıtlarından rapor edilmektedir. Bina yangınlarında ölümlerin büyük bir çoğunluğuna sebep olan karbon monoksit (CO), renksiz, kokusuz, tatsız ve karbon içeren materyallerin yanması sonucu ortaya çıkan tahriş edici özelliği olmayan toksik bir gazdır [Budavari, 1989]. Karbon monoksitin (CO) insan fizyolojisine verdiği zarar, 1856 yılında Clude Bernard tarafından yapılan araştırma ile ilk defa ortaya konmuştur [Sternbach and Varon, 2003]. Bernard çalışmasında, karbon monoksitin (CO) herhangi bir organ üzerinde direkt bir etkisi bulunmadığını, ancak fiziksel güçte büyük değişikliklere sebep olduğunu, merkezi sinir sisteminin felce uğrattığı ve boğularak ölüme yol açtığını rapor etmektedir.

Karbon monoksit (CO) kandaki hemoglobinle birleşerek karboksi hemoglobini (COHb) oluşturmaktadır. Böylece kandaki hücreler oksijen (O_2) yerine karbon monoksitle (CO) birleşerek kandaki oksijen (O_2) miktarını düşürmektedir. Karbon monoksitin (CO) hemoglobinle birleşmesi, oksijenle (O_2) birleşmesine oranla 200-250 kat daha yüksek olduğu bilinmektedir [NRC, 1985]. Böylece beyin hücrelerinin oksijensiz (O_2) kalması ve bilinç kaybının yaşanması hızla gerçekleşmektedir. Kandaki karboksi hemoglobin (COHb) miktarının artış hızı maruz kalınan süreye, gazın konsantrasyonuna ve barometrik basınca göre değişmektedir. Daha az etkili olan etkenler arasında ise akciğer kapillerlerindeki kan hacmi, RMV, vücut sıcaklığı, içsel karbon monoksit (CO) üretimi, akciğer kapillerlerindeki oksijenin kısmi basıncı, kanın karbon monoksit (CO) ve oksijen çekim oranı sayılabilmektedir [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

Karbon monoksit (CO) zehirlenmeleri ile ilgili farklı araştırmacılarca yürütülen bu çalışmalar Tablo 2.6 2.7 ve 2.8'de özetlenmektedir. İlgili tablolarda, karboksi hemoglobin (COHb) düzeyleri, konsantrasyon ve maruz kalınan süreye göre 9 kategoride sınıflandırılmaktadır (konsantrasyon ve sürenin 3 ayrı düzeyini içeren kombinasyonları). Kombinasyonlarda konsantrasyon düzeyleri düşük orta ve yüksek olmak üzere, sırasıyla 0-50 ppm, 51-124 ppm, 125-1000 ppm olarak belirlenmektedir. Süreler ise bina yangınları göz önüne alınarak, kısa, orta ve uzun süreli olarak 0-25 dak, 26-150 dak, 151-1447 dak. sınıflandırılmaktadır.

Araştırma sonuçları incelendiğinde farklı araştırmacılarca tespit edilen bulguların tutarlı oldukları gözlenmektedir. Tablolarda özetlenen bulgular yorumlandığında, karbon monoksit (CO) zehirlenmelerinde konsantrasyondan ziyade alınan dozun belirleyici olduğu açıkça görülmektedir. Ancak görülmektedir ki, deneysel çalışmalar, öldürücü olduğu bilinen %30 COHb düzeyinin ancak yarısını inceleyebilmektedir. Bir bina yangınında yüksek konsantrasyonların kısa süreli olarak insanları etkilediği bilindiğine göre, yüksek konsantrasyonların kısa süreli etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Ancak bugüne kadar, bu kapsamdaki çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu amaca hizmet eden sadece iki çalışma Tablo 2.8'de gösterilmektedir. Her iki deneyin de aynı araştırmacı tarafından yapıldığı, ancak birbirlerinden oldukça farklı sonuçlar verdikleri gözlenmektedir.

Tablo 2.6. Düşük karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarında deneysel karboksi hemoglobin bulguları [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

	COHb (%) a/v	Konsantrasyon (ppm)	Maruz kalma süresi (dak.)	Doz (ppm.dak)	Fizyolojik etki
Düşük süreli maruz kalma	2.50	50.00	25.00	1250.00	RMV miktarı artmakta
	2.70	50.00	25.00	1250.00	Etki yok.
Orta süreli maruz kalma	2.00	50.00	80.00	4000.00	Dikkatte zayıflama. Düşünce fonksiyonları tam.
	2.3 - 3.1	50.00	125.00	6250.00	Dikkatte kademeli azalma
	2.30	26.00	135.00	3510.00	Etki yok.
Yüksek süreli maruz kalma	3-7.7	35.76	240.00	8582.40	Dikkatte %3 oranında azalma
	4.3 - 5	50.00	240.00	12000.00	Kalp atışında artma, oksijen tüketiminde azalma.

Tablo 2.7. Orta karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarında deneysel karboksi hemoglobin bulguları [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

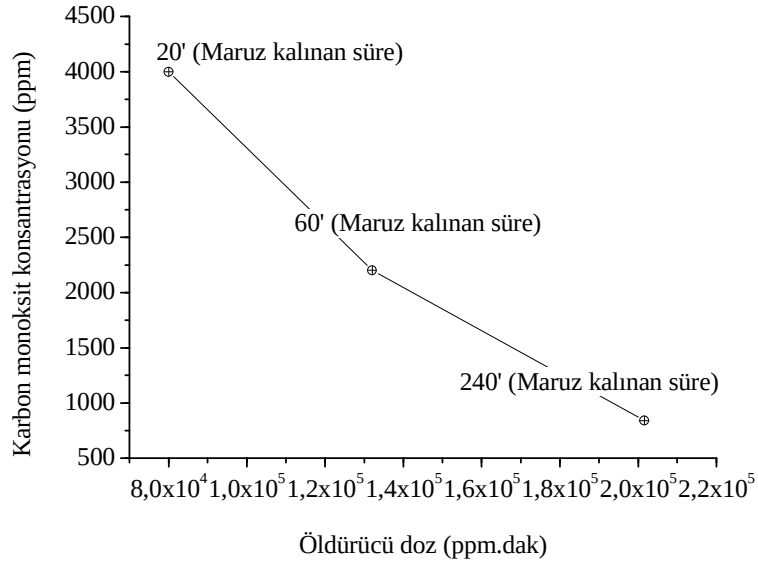
	CoHb (%) a/v	Konsantrasyon (ppm)	Maruz kalma süresi (dak.)	Doz (ppm.dak)	Fizyolojik etki
Orta süreli maruz kalma	6.60	111.00	135.00	14985.00	Dikkatte azalma, kalp atışında ve RMV değerinde değişme yok.
	6.90	111.00	135.00	14985.00	Etki yok.
	5.00	100.00	150.00	15000.00	Hareket performansında azalma yok.
	7.00	100.00	150.00	15000.00	Görsel ve işitsel dikkatte azalma yok.
Yüksek süreli maruz kalma	6.60	124.00	180.00	22500.00	Etki yok.
	10.00	90.00	360.00	32400.00	Tepki süresinde azalma
	12.00	100.00	480.00	48000.00	Etki yok.
	11.00	75.00	1447.00	108525.00	Denekin %70 sinde beyin P dalgasında değişiklikler var.

Tablo 2.8. Yüksek karbon monoksit (CO) konsantrasyonlarında deneysel karboksi hemoglobin (COHb) bulguları [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

	COHb (%) a/v	Konsantrasyon (ppm)	Maruz kalma süresi (dak.)	Doz (ppm.dak)	Fizyolojik etki
Düşük süreli maruz kalma	8.50	650	45	29250	Görsel tepki süresinde kısalma
	12	950	45	42750	Tepki süresinde azalma, algılama ve ışık hassasiyetinde etki yok.
Orta süreli maruz kalma	7.50	250	80	20000	Etki yok.
Yüksek süreli maruz kalma	6.60	125	180	22500	Etki yok.
	12.60	200	160	32000	Dikkatte azalma yok.
	10.40	200	180	36000	Etki yok.
	13-16	200-500	240	84000	Hafif baş ağrısı
	18.00	200	300	60000	Etki yok.

Öldürücü dozun sabit kalmadığı, konsantrasyonun yüksek olduğu kısa süreli maruz kalmalarda öldürücü dozun düşük, konsantrasyonun düşük olduğu uzun süreli maruz kalmalarda da ölümcül dozun yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Örneğin 840 ppm CO 4 saat, 2200 ppm CO 1 saat, 4000 ppm CO 20 dakika solunduğunda ölümcül dozlar Şekil 2.4'te grafik olarak işaretlendiklerinde bu sonuç açıkça görülmektedir.

Tablo 2.6-2.8'de özetlenen deneysel çalışmaların ayrıntılı bir özeti ABD'de faaliyet gösteren denizaltılardan kaçış aşamaları komitesince rapor edilmektedir [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002]. Burada, sadece tez konusunu ilgilendiren önemli bulgular özetlenmektedir.



Şekil 2.4. Öldürücü doz karbon monoksit (CO) konsantrasyonu ilişkisi.

Kandaki karboksi hemoglobin (COHb) seviyesi %15-%20 arasında olduğunda fiziksel çalışma kabiliyetinde herhangi bir etki gözlemlenmediği Ekblom and Huot, [1972], tarafından rapor edilmektedir. Horvath, et. al., [1975], yaptığı deney sonuçlarına göre kandaki %COHb oranı %4.3 seviyesine ulaştığında solunan hava miktarının arttığını vurgulanmaktadır. Beard and Grandstaff, [1975], karboksi hemoglobin (COHb) seviyesi %2 olduğunda, dikkatin önemli ölçüde azaldığını bildirmektedir. O'Donnell, et. al., [1971], ve Horvath, et. al., [1971], insanlardaki performans düşüklüğünün %6.6 karboksi hemoglobin (COHb) seviyesinde gerçekleştiğini ifade etmektedir. Putz, et. al., [1976], karbon monoksit (CO) maruz

kalan deneklerde karboksi hemoglobin (COHb) oranı %5 olduğunda, dikkatte azalmanın yanı sıra, göz-el koordinasyonunda da önemli bozukluklar olduğunu rapor etmektedir. Ancak Ramsey, [1973], çalışmasında kişinin algılamasındaki ya da görsel performansında azalmanın oluşabilmesi için karboksi hemoglobin (COHb) seviyesinin %12 düzeyine ulaşması gerektiğini iddia etmektedir [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

Stewart, et. al, [1970], çalışmalarında, kandaki karboksi hemoglobin (COHb) düzeyi %40 olana kadar hiçbir fiziksel belirtinin olmadığını iddia etmektedir. Fiziksel aktivitenin yoğun olduğu durumlarda ise, ilk belirtilerin %15 ile %20 dolayında oluştuğunu hayvan denekler üzerinde yapılan deneylerden bildirmektedir. Bu düzeylerin içinde geçerli olduğunu, vurgulanmaktadır [Purser, 1995]. Stewart and Comb, [1974], diğer çalışmalara paralel olarak, kandaki karboksi hemoglobin (COHb) oranının, %50 ile %70 arasındayken ölümün gerçekleştiğini ancak bu oranın kişiye göre, daha düşük konsantrasyonlarda da oluşabileceğine dikkat çekmektedir. Aynı çalışmada, kandaki karboksi hemoglobin (COHb) oranının aktif hale gelmesi ile soluma hızının artacağı, böylece kandaki karboksi hemoglobin (COHb) oranının da hızla artarak komaya girmeyi hızlandıracağını belirtilmektedir.

Beard and Grandstaff, karboksi hemoglobin (COHb) düzeylerine bakmaktansa, konsantrasyon ve maruz kalma süresine bakarak fiziksel performansın belirlenmesini önermektedir. Deney bulguları 50 ile 100 ppm karbon monoksit (CO) konsantrasyonunun 50 ile 90 dakika arası solunmasının öldürücü dozu vereceğini savunmaktadır [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

Yakın zamanda Strathclyde, patoloji laboratuvarlarından elde edilen bulgular, kandaki karboksi hemoglobinin (COHb) %30'a ulaştığında şuur kaybına, %50'den fazla olmasında ise ölüme sebebiyet vereceğini göstermektedir [Purser, 1995]. Bu çalışmalar ABD denizatlardan kaçış komitesince rapor edilen araştırma bulgularının tarihsel gelişim sürecine son noktayı koymaktadır.

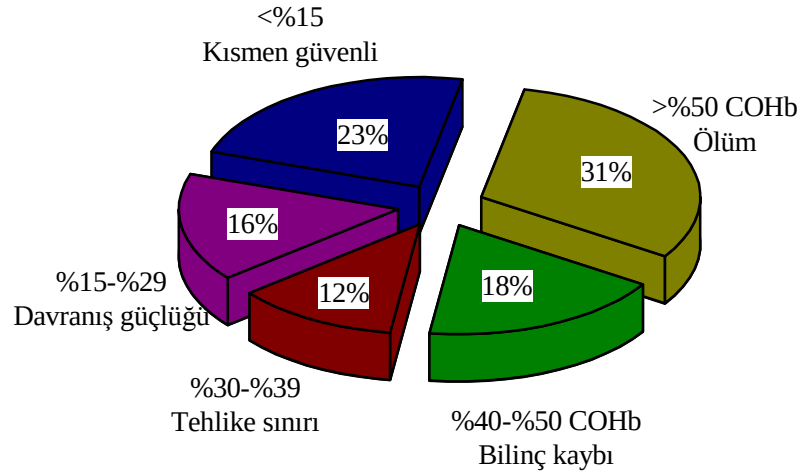
Varon, et. al., [1999], sigara içen insanlarda kandaki karboksi hemoglobin (COHb) seviyesinin %9 kadar ulaşabileceğini belirtmektedir. Böylece karboksi hemoglobin (COHb) düzeyinin %10'dan düşük olduğunda zararlı bir etkinin

gözlemlenmeyeceği iddia edilmektedir. Yazarların bulgularına göre, kandaki karboksi hemoglobin düzeyine bağlı olarak insan fizyolojisinde oluşan etkiler Tablo 2.9'da özetlemektedir.

Tablo 2.9. Varon, et. al., [1999], göre karboksi hemoglobin (COHb) etkisi.

% Karboksi hemoglobin (COHb)	Yarattığı fiziksel etki
10	Olasılıkla baş ağrısı
20	Baş dönmesi, mide bulantısı
30	Görsel rahatsızlık duyma
40	Karar vermede güçlük çekme
50	Kriz ve koma
>60	Kalp ve akciğer iflası ve ölüm

Holborn, et. al., [2003], 1996-2000 arasında meydana gelen 151 konut yangınına 279 denek üzerinde yaptıkları incelemelerle en gerçekçi sonuçları ortaya koymaktadır. Kandaki karboksi hemoglobin (COHb) seviyesinin %15den az olduğu durumlarda zararlı bir etkinin oluşmayacağı, %15-%29 arasında davranışsal bozuklukların başlayacağı, %30-%39 arasının tehlike eşiğine ulaşılacağı, %40 -%50 arasında bilinç kaybının gerçekleşeceği ve %50'den fazla olduğu durumlarda ölümün vuku bulacağı iddia edilmektedir. Kurbanların kanlarındaki karboksi hemoglobin yüzdesine göre etkiler Şekil 2.5'te grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Kazazedelerin kanlarında ölçülen karboksi hemoglobin (COHb) yüzdesi, [Holborn, et. al., 2003].

Karbon monoksitin (CO) toksik özelliklerini araştıran deneysel bulgular hayvan denekler kullanılarak elde edilmektedir. Bu deneyler, genellikle çok çabuk ve tehlikeli gelişim gösteren (akut), toksik gaza maruz kalma durumunu yansıtacak

biçimde kurgulanmaktadır. 20 dakika ile 6 saat arasında hayvan denekler karbon monoksit (CO) maruz bırakılmış hayvan deneklerin hepsinde kardiovasküler çöküntü gözlemlenmektedir. Genetik ya da dokusal benzerlikler gösteren bu hayvan denekler kullanılarak yapılan deneylerin bulguları Tablo 2.10'da özetlenmektedir.

Tablo 2.10. Hayvan denekler üzerinde yapılan toksik deneyleri ve fizyolojik sonuçları [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

Denek	CO (ppm)	Maruz kalınan süre	% COHb	Oluşan fizyolojik etki
Maymun	100	6 saat	9.3	Kardiovasküler bozukluk
Maymun	900	20-30 dakika	25-30	Davranışsal yetide azalma CO ₂ atımının azalması
Köpek	100	2 saat	6.5	Kardiovasküler bozukluk
Fare	400	4 saat	27	Reflekslerde etki yok.
Fare	800	4 saat	34	Reflekslerde yetmezlik, hareketsizlik
Fare	2000	30 dakika	75	Hareket kabiliyetinde azalma

Kesin bir ölçü olmamakla birlikte tüm deney ve gözlemler, kandaki karboks hemoglobin (COHb) seviyesinin %30 seviyesine erişmesiyle tehlike eşiğine geldiğini ve toksik etkilerin hareketsizlik yaratmaya başladığına işaret çekmektedir. Kişinin kandaki karboks hemoglobin (COHb) düzeyi %30'u aştığında ise, kandaki karboks hemoglobin (COHb) artışı hızlanmakta ve kaçıışı daha da imkansız hale getirmektedir. O halde kişinin, mekanı terk edebilmesi için gerekli olan süre, %30 karboks hemoglobin (COHb) oranına bağlı olarak sınırlanmaktadır.

Karbon monoksitten (CO) kaynaklanan, hareketsizlik koşullarının oluşması için gereken süreyi tahmin eden modeller mevcuttur. Bu modellerden Coburn-Forster-Kane modeli (Bkz. Denklem (2.7)), karbon monoksit (CO) konsantrasyonunu kandaki COHb oranına ilişkilendirmektedir. Denklem (2.7) karbon monoksit (CO) maruz kalan insanlar üzerinde yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır. Denklemde bulunan tüm sabitler ve değişkenler, kandan belirlenecek ölçümlerle elde edilmektedir ki, bu durum denklemi basit bir ampirik formül olmaktan çıkararak kişiye özel bir hale getirmektedir. Denklem (2.7)'de ele alınan kişisel özellikler aşağıda sıralanmaktadır [Purser, 1995]:

1. Aktivite derecesi,
2. Vücut ölçüleri (kadın, erkek ve çocuklar için),

3. Kan hacmi,
4. Hemoglobin konsantrasyonu,
5. Akciğer fonksiyonunun durumu.

$$\frac{A[\text{HbCO}]_t - BV_{\text{CO}} - \text{PI}_{\text{CO}}}{A[\text{HbCO}]_o - BV_{\text{CO}} - \text{PI}_{\text{CO}}} = e^{-tAV_bB} \quad (2.7)$$

Burada ' $[\text{HbCO}]_t$ ', 't' birim zamanda, bir mililitre (mL) kanda oluşan karbon monoksit (CO) miktarını, ' $[\text{HbCO}]_o$ ' karbon monoksit (CO) maruz kalmadan önce kanda bulunan karbon monoksit (CO) yüzdesini, ' V_{CO} ' içsel karbon monoksit (CO) oluşum oranını, ' V_b ' vücudun kan hacmini (mL) (74 kilo olan bir kişi için yaklaşık 5, 500 mL), ' PI_{CO} ' teneffüs edilen karbon monoksitin (CO) kısmi basıncını (mmHg), 't' maruz kalınan süreyi (dakika), 'A' ve 'B' ise sırasıyla Denklem (2.7(a)) ve Denklem (2.7(b)) ile hesaplanan sabit değerleri ifade etmektedir.

$$A = \frac{\bar{P}_{\text{C},\text{O}_2}}{M[\text{HbO}_2]} \quad (2.7(a))$$

Burada, ' $\bar{P}_{\text{C},\text{O}_2}$ ' oksijenin (O_2) akciğer kılcalları üzerindeki ortalama kısmi basınç değerini (mmHg), ($\bar{P}_{\text{C},\text{O}_2} = \text{PI}_{\text{O}_2} - 49$), ' $[\text{HbO}_2]$ ' birim hacim kandaki, oksijen (O_2) miktarını (mL), 'M' ise kanın oksijene (O_2) oranla karbon monoksit (CO) bağlanma oranını vermektedir.

$$B = \frac{1}{\text{DL}_{\text{CO}} + \text{PL} / V_A} \quad (2.7(b))$$

B sabiti içinde yer alan ' DL_{CO} ' akciğerlerin karbon monoksit (CO) difüzyonunu (mL/dak.-mmHg), 'PL', vücut sıcaklığında, barometrik basınç ile su buharı basıncı farkını (mmHg) vermektedir. Denklem (2.7(b))'de kullanılan ' V_A ' ise, alveollerden emilme hızını (mL/dak.) tanımlamaktadır.

$$DL_{CO} = 35V_{O_2} e^{0,33} \quad (2.7(c))$$

$$V_A = 0,933V_E - 132 f \quad (2.7(d))$$

$$V_{O_2} = RMV / 22,274 - 0,0309 \quad (2.7(e))$$

Denklem (2.7(e))’den hesaplanan ‘ V_{O_2} ’ oksijen (O_2) tüketimini (L/dak.) ifade etmektedir. ‘ f ’ solunum frekansının (solunum/dak.) Denklem (2.7(f))’den hesaplanan değeridir. ‘ PI_{CO} ’ ise, Denklem (2.7(g)) yardımı ile hesaplanmaktadır.

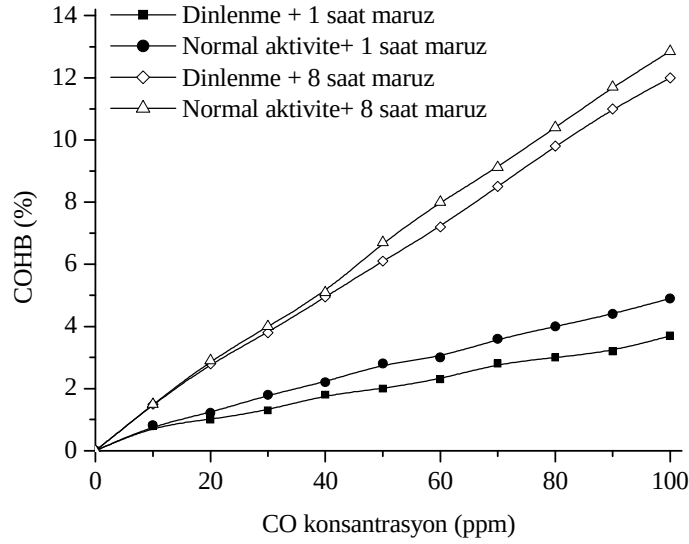
$$f = \exp[0,0165 RMV + 2,393] \quad (2.7(f))$$

$$PI_{CO} = \frac{PI_{O_2}}{148,304 - 0,0208} \quad (2.7(g))$$

Denklem (2.7(g))’de ifade edilen ‘ PI_{O_2} ’ havadaki oksijenin (O_2) kısmi basıncını tanımlamaktadır. Denklem (2.7)’de aranan ‘ $[HbCO]_t$ ’ t zaman sonraki karboksi hemoglobin (COHb) yüzdesini tanımlamaktadır ve Denklem (2.7(h)) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$[HbCO]_t = [COHb \%t] \times 0,0022 \quad (2.7(h))$$

Denklem ((2.7)-2.7(h)) ile ifade edilen CFK bağıntısı kullanılarak, düşük konsantrasyonlar için karbon monoksitin (CO) yaratacağı karboksi hemoglobin yüzdelерinin tahmin değerleri Şekil 2.6’da grafik olarak gösterilmektedir [Raub, 1999].



Şekil 2.6. Karbondioksit konsantrasyonu ile karboksi hemoglobin seviyesi arasındaki ilişki [Raub, 1999].

Alternatif olarak, Steward, et. al., yüksek konsantrasyondaki karbon monoksit (CO) gazına kısa süreli maruz kalma hallerinde, ortamdaki karbon monoksit (CO) konsantrasyonuna bağlı olarak kandaki karboksi hemoglobin (COHb) yüzdesini Denklem (2.8)'de verilen oldukça basit bir bağıntı yardımı ile hesaplanmasını önermektedir.

$$\%COHb = (3,317 \times 10^{-5}) (ppmCO)^{1,036} (RMV) (t) \quad (2.8)$$

Burada, 'ppmCO' ppm cinsinden CO konsantrasyonunu, RMV dakikada solunan hava hacmini (RMV~25L/dak.) ve 't' teneffüs edilme süresini (dak.) temsil etmektedir.

Kişinin maruz kaldığı zehirleyici gaz, ölüme ya da bilinç kaybına yol açan dozun belirli bir oranı FED (fractional effective dose), CO için Denklem (2.9)'da gösterilen ifade ile hesaplanabilmektedir.

$$FED_{CO} = \frac{K (CO^{1,036}) (t)}{D} \quad (2.9)$$

Burada, 't' maruz kalma süresi, 'K' ise Denklem (2.10) ve (2.11)'den hesaplanabilen normal hareketli bir kişi için RMV değerini, 'D' normal hareketli bir

insan için kandaki öldürücü karboksi hemoglobin (COHb) yüzdesini (%30) ifade etmektedir.

$$K = 8,2925 \times 10^{-4} \text{ (normal hareketli 70 kg ağırlığında 25L/dak. için)} \quad (2.10)$$

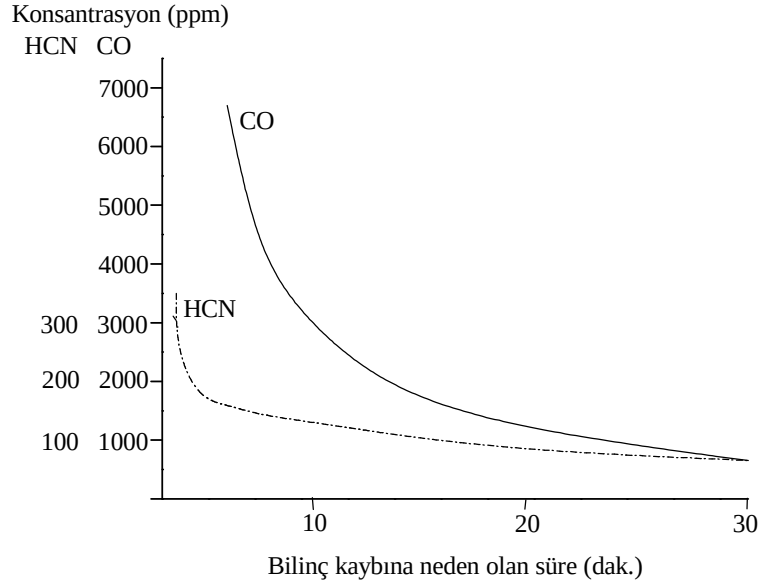
$$K = 2,8195 \times 10^{-4} \text{ (dinlenme durumunda 8.5L/dak. için)} \quad (2.11)$$

'buildingEXODUS' yazılımında, karbon monoksitin (CO) etkisi Denklem (2.8-2.11)'de verilen ifadeler yardımıyla değerlendirmekte ve bina kullanıcılarının fiziksel performansı bu bağlantılar yardımıyla azaltılmakta ya da durdurulmaktadır.

2.1.2.2.Hidrojen Siyanür (HCN)

Hidrojen siyanür (HCN) renksiz, çok zehirli bir sıvıdır. Hidrojen siyanür (HCN) normal şartlarda hemen gaz haline dönüşebilmektedir. Bu gaz (HCN), naylon, metil metakrilat ürünlerinin yanmasından da oluşmaktadır. Bu ürünler binada elektrik tesisatı dış ve iç kaplama malzemesi olarak veya haşereye karşı ilaçlamada kullanılabilmektedir [ATSDR, 1997].

Hidrojen siyanür (HCN) zehirlenmeleri karbon monoksit (CO) zehirlenmeleri kadar ciddi sonuçlara yol açmaktadır. Ancak hidrojen siyanürün (HCN) kanda saptanması son derece güç olduğundan çoğu zaman zehirlenmeye bağlı olarak olduğu belirlenmemektedir. Ancak hidrojen siyanüre (HCN) maruz kalındıktan hemen sonra ölçüm yapılırsa kanda varlığı anlaşılabilmektedir. Şekil 2.7'den anlaşılabileceği üzere hidrojen siyanür (HCN), zehirlenmelerinin belirtileri karbon monoksit (CO) zehirlenmelerine çok benzese de gelişimi çok daha hızlıdır. Maruz kalındığında, solunum yoluyla ya da deri yoluyla zarar verebilmektedir [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].



Şekil 2.7. Hidrojen siyanür (HCN) ve CO bilinç kaybı süresi ilişkisi ile karşılaştırılması [Purser, 1995].

Hidrojen siyanürün etkisini derecesini tespit etmek için hayvan denekler üzerinde yapılan deneyler önemli bulgular sağlanmaktadır [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002]. İnsanın genetik yapısına yakınlığı ile bilinen maymun ve doku benzeşmesi nedeniyle fare denekler üzerine yapılan çalışmalar 3 farklı konsantrasyon düzeyine ve maruz kalınan süreye bağlı olarak sınıflandırılarak sunulmaktadır. (Bkz. Tablo 2.11-2.13). Kombinasyonlarda konsantrasyon düzeyleri düşük orta ve yüksek olmak üzere, sırasıyla 0-50 ppm, 51-124 ppm, 125-1000 ppm olarak belirlenmektedir. Süreler ise bina yangınları göz önüne alınarak, kısa, orta ve uzun süreli olarak 0-25 dak., 26-150 dak., 151-1447 dak. sınıflandırılmaktadır.

Tablolar incelendiğinde ölçüm yüzdesi ile doz arasında açık bir ilişki gözlemlenmemektedir. Deneysel çalışmalar, genellikle yüksek ya da orta düzey konsantrasyonlarda uzun ya da orta süreli maruz kalma şartlarını incelemektedir. Bina yangınlarının %10'nunda tespit edilmiş olan hidrojen siyanürün düşük konsantrasyonlarda; 15-40 ppm seviyelerinde varlığı tespit edilmiştir [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002]. Ancak tablolardan anlaşılacağı üzere, düşük konsantrasyon ve düşük süreli maruz kalma şartını sağlayan bir adet deney olup ölüm yüzdesi %16 olarak tespit edilmektedir. Bu durumda kesin bir yargıya varmanın güç olduğu ve daha fazla deneysel bulguya ihtiyaç duyulduğu açıktır.

Bir diğer bulgu ise, incelenen hayvan cinsine bağlı olarak ölümcül dozun ve ölüm oranının oldukça değişken olduğudur. HCN düzeylerinin vücut doku ve sıvılarında yarattığı kirlenme ölçülememediğinden, literatürde sadece ölüm yüzdeleri yer almaktadır. Tablo 2.11-2.13 incelendiğinde, fare ölümlerinin benzer dozlar için maymunlardan daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda vücut ağırlığı ile ölüm oranı arasında bir ilişki olabileceğini yorumu yapılabilir. Karbon monoksit (CO) bulgularına benzer olarak, yüksek konsantrasyonun kısa süreli uygulanmasının, düşük konsantrasyonun uzun süreli uygulanmasından daha tehlikeli sonuçlar yaratacağı gözlenmektedir. Ancak bina yangınlarında, şanslı bir durum olarak, konsantrasyonun fazlaca yüksek olmaması, yüksek konsantrasyonlu HCN deney bulgularına fazlaca ihtiyaç duyulmayacağı sonucunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2.11. Maymun denekler üzerinde HCN testleri [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

		Konsantrasyon (ppm)	Maruz kalma süresi (dak.)	Doz (ppm.dak)	Ölüm (%)
Orta konsantrasyon	Orta süreli maruz kalma	100	60	6000	0
	Düşük süreli maruz kalma	400	3	1200	100
Yüksek konsantrasyon	Orta süreli maruz kalma	140	30	4200	33.33
		200	30	6000	33.33
		170	60	10200	100

Tablo 2.12. Fare deneklerin düşük ve orta konsantrasyon HCN deneyleri [Subcommittee on Submarine Escape Action Levels, 2002].

		Konsantrasyon (ppm)	Maruz kalma süresi (dak.)	Doz (ppm.dak)	Ölüm %
Düşük konsantrasyon	Orta süreli maruz kalma	50	60	3000	16.66
Orta konsantrasyon	Düşük süreli maruz kalma	100	30	3000	33.33
		110	30	3300	50
		120	60	7200	50
	Orta süreli maruz kalma	110	90	9900	100
	Yüksek süreli maruz kalma	68	360	24480	30
		100	720	72000	100

Tablo 2.12. (devam).

		Konsantrasyon (ppm)	Maruz kalma süresi (dak.)	Doz (ppm.dak)	Ölüm%
Yüksek konsantrasyon	Düşük süreli maruz kalma	1339	1	1339	50
		500	3	1500	50
		449	5	2245	50
		484	5	2420	50
		503	5	2515	50
		240	9	2160	75
		3438	10	34380	50
		200	15	3000	50
		157	30	4710	50
		200	30	6000	100
		323	30	9690	50
	Orta süreli maruz kalma	144	60	8640	50
	Yüksek süreli maruz kalma	150	240	36000	100
		166	240	39840	50

Purser et. al., [1995], 30 dakika süreyle hidrojen siyanüre (HCN) maruz bırakılan maymunların 1-5 dakika arasında solunum hızları 4 kat artışı ve akabinde bilinç kaybı gözlemlendiğini rapor etmektedir. EEG sinyalleri aracılığı ile beyinde şiddetli depresyon, güç kaybı, elektro grafit aracılığı ile de kalp atışlarında azalma, ritim bozuklukları ve kalpte oksijensizlik belirlenmektedir.

HCN zehirlenmesi konusunda en son bulgular gerçek bir yangın olayından elde edilmektedir. Buenos Aires'te bir hapisanede çıkan yangında mahkumların poliüretan esaslı yataklarının yanması sonucunda ortama fazla miktarda HCN ürünü yayılmıştır. Ferrari, et. al., [2001], bu isyanda ölen 35 kurbanın kan örneklerini alarak incelemelerde bulunmuştur. Kan örnekleri incelemesinde araştırmacılar, kanın doygunluk düzeyinin, kandaki karboksi hemoglobin (COHb) oranının %4 ile %18 arasında olması halinde kandaki HCN oranının 2.0 ile 7.2 mg/l olacağını, ve bu değerlerin ölümcül olarak bilinen değerlerden oldukça yüksek olduğunu ifade etmektedirler. Ayrıca bu araştırma sonucunda, 35 kurbanın kan örneklerindeki COHb/HCN oranının sabit olduğunu ve bu oranın 2.72 ± 1.26 düzeylerinde değiştiğini belirtmektedirler.

Hidrojen siyanür zehirlenmesi sonucu ölümcül dozun alınacağı sürenin ' t_{icn} ' matematiksel ifadesi deneysel bulguların istatistiksel regresyonuna dayanmaktadır. Bu modellere ilişkin iki bağıntı Denklem (2.12) ve Denklem (2.13)'te verilmektedir.

$$(t_{icn}) = (185 - HCN) / 4,4 \quad (2.12)$$

$$t_{icn} = \exp(5,396 - 0,023 \times HCN) \quad (2.13)$$

Maruz kalınan hidrojen siyanür (HCN) dozunun baygınlık yaratması için gerekli sürenin oranı ' F_{icn} ', Denklem (2.14) ile ifade edilmektedir.

$$F_{icn} = \frac{t}{(t_{icn})} \quad (2.14)$$

Denklem (2.12)-(2.14)'de 'HCN' hidrojen siyanür konsantrasyonunu (ppm), 't' ise maruz kalınan süreyi (dak.) temsil etmektedir.

Denklem (2.12)-(2.14) 'buildingEXODUS' yazılımında hidrojen siyanür etkisinin insan fizyolojisinde yaratacağı hareket sınırlamasını tahmin etmek üzere kullanılmaktadır.

2.1.2.3. Karbon dioksit (CO₂)

Karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO) gibi, her türlü bina yangınında yanma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak karbon dioksit (CO₂) karbon monoksit (CO) kadar toksik değildir. Bu gazın olumsuz etkileri iki kategoride ele alınmaktadır: birincisi, kişilerin RMV (birim dakikada teneffüs edilen hava hacmi) değerini yükselterek ortamdaki diğer zehirli gazların bünyeye geçişini hızlandırmaktadır. Örneğin, karbon dioksitin (CO₂) kandaki oranı %3'ü geçtiği zaman solunum hızı 2 katına, %5'i aştığı zaman ise, solunum hızı 3 katına çıkmaktadır [Purser, 1995]. Bu da, ortamda bulunan diğer toksik maddelerin daha fazla solunmasına yol açmaktadır. İkincisi karbon dioksitin (CO₂) kendi narkotik etkisidir. Narkotik etki aşağıda verilen fizyolojik zayıflıklara sırasıyla sebep olmaktadır [Purser, 1995]:

1. %3 - %6 düzeyinde solunum güçlüğü yaratmaktadır.
2. %6 - %7 düzeyinde şiddetli solunum güçlüğü, baş dönmesi, bilinç kaybı başlangıcı oluşturmaktadır.
3. %7 - %10 düzeyinde bilinç kaybı ve ölüm oluşturmaktadır.

Karbon dioksitin (CO₂) RMV değerini artırmasına neden olan çarpım faktörü (VCO₂), Denklem (2.15) yardımı ile hesaplanabilmektedir [Purser, 1995].

$$VCO_2 = \frac{\exp(0,2496 \times \% CO_2 + 1,9086)}{6,8} \quad (2.15)$$

Ortamdaki karbon dioksitin (CO₂) bilinç kaybına yol açması için gerekli olan maruz kalma süresi ise 't_{lCO₂}' ise, Denklem (2.16) yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$t_{\text{CO}_2} = \exp(6,1623 - 0,5189 \times \% \text{CO}_2) \quad (2.16)$$

Denklem (2.15) ve (2.16)'da '%CO₂' yüzde cinsinden karbon dioksit konsantrasyonunu temsil etmektedir. Karbon dioksit (CO₂) zehirlenmesi ile baygınlık dozunun yüzde kaçına ulaştığı 'F_{CO₂}' Denklem (2.17) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$F_{\text{CO}_2} = \frac{t}{(t_{\text{CO}_2})} \quad (2.17)$$

'buildingEXODUS' yazılımı karbon dioksit faktörünü boşaltım süresinin belirlenmesinde Denklem (2.15)–(2.17) ifadelerini dikkate almaktadır.

2.1.2.4.Oksijen (O₂) Eksikliği (Hipoksi)

Yanma reaksiyonu, oksijen (O₂) tüketimine de yol açmaktadır. Normal şartlar altında, ortamda bulunması gereken %21 oranındaki oksijen (O₂), bina yangınlarında %10-15 düzeylerine kadar düşebilmektedir. Bu değer, bilinç kaybı oluşturabilecek derecede akut solunum yetmezliğine neden olabilmektedir. Ortam havasındaki oksijen (O₂) konsantrasyonunun %6 seviyelerinin altına düşmesi ise ölüme yol açmaktadır [Akçay ve Eyüboğlu, 2003].

10.6 kJ ısı enerjisinin açığa çıkabilmesi için 3.4 gr havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da er 13.4 kJ ısının açığa çıkması için 1 gr oksijen tüketildiğini göstermektedir [Tewarson, 1985]. O halde yakıtın birim kütlesinin ısı enerjileri bilindiği takdirde yanacak birim kütle sonucunda ne kadar oksijen kaybı oluşacağı hesaplanabilmektedir. Yüksek ısı enerjisiye sahip yakıtların daha hızlı ortam oksijenini tüketeceği açıktır. Oksijen konsantrasyonunun azalmasıyla insan fizyolojisinde meydana gelen etkiler aşağıdaki gibi rapor edilmektedir [Purser, 1995]:

1. %14.4 - %20.9 düzeyinde belirgin bir fizyolojik etki yoktur. Hareket etme kabiliyetinde çok az bir azalma görülebilmektedir.

2. %11.8 - %14.4 düzeyinde hafızada ve karar verme yetisinde azalma ve hareket etme kabiliyetinde azalma görülebilmektedir.
3. %9.6 - %11.8 düzeyinde baygınlık, uyuşukluk, bilinç kaybı kaçınılmazdır.
4. %7.8 - %9.6 düzeyinde bilinç kaybı ve ölüm yaşanmaktadır.

Bu etkilere bağlı olarak geliştiren istatistiksel matematiksel model, ortamdaki oksijen (O_2) konsantrasyonuna bağlı olarak ölüme yol açması için gerekli olan maruz kalınan süreyi ' t_{io} ' verebilmektedir (Bkz. Denklem (2.18)) [Purser, 1995].

$$(t_{io}) = \exp[8,13 - 0,54 (20,9 - \%O_2)] \quad (2.18)$$

Baygınlık dozu oranının ' F_{io} ' belirlenmesi ise Denklem (2.19) yardımıyla yapılmaktadır.

$$F_{io} = \frac{[(20,9 - \%O_2)(t)]}{[(20,9 - \%O_2)(t_{io})]} \quad (2.19)$$

Her iki denklem de, 'buildingEXODUS' yazılımında, oksijen eksikliğini boşaltım süresinin tahmininde değerlendirmek üzere kullanılmaktadır.

2.2. Boşaltım Süresinin Belirlenmesinde Psikoloji

İnsanların yangında nasıl davrandığına dair ilk çalışmalar 1970’ler ve 1980’li yılların başlarında Maryland Üniversitesi tarafından gerçekleştirilmiştir [Proulx, 2003]. İlk çalışmada, İngiltere’de 952 yangın olayında yer alan 2193 kişi ile bire bir görüşmek suretiyle, insan davranışları hakkında bilgi toplanmaktadır. Ayrıca kullanıcıların duman içine girme eğilimleri ve yangın esnasında yangınla olan mücadele yatkınlıkları da incelenmektedir. Çalışmanın diğer bir amacı, ABD ve İngiltere’deki kullanıcı davranışındaki farklılıkları, yani kültür farklılaşmasını değerlendirmektir. İkinci çalışmada ise, sağlık görevlilerinin raporları ve önemli yangın olaylarındaki raporlar incelenmektedir. Her iki çalışmada da kullanıcıların davranışları iki yöntemle ölçülmektedir. İlk yöntem olaylardan sonra kurbanlara yöneltilen anket ve röportaj çalışmalarıdır. İkinci yöntem ise, boşaltım çalışmalarında ve gerçek yangın olaylarında kritik bölgelere yerleştirilmiş kamera görüntülerinden yararlanmaktır [Proulx, 2003]. Her iki yönteminde kullanıcı hareketlerini ve boşaltım sürelerini gözlemek amacıyla sıklıkla kullanıldıkları bildirilmektedir [Purser, 2001].

Kullanıcıların yangın esnasındaki hareket tarzını, kullanıcıların kendi aralarındaki etkileşimi, binanın fonksiyonu ve yangının gelişim süreci biçimlendirmektedir [Purser, 2001]. Kullanıcının yangın esnasındaki davranışları, British and International Organization for Standards of Fire Safety Engineering (FSE) tarafından iki ayrı süreçte tanımlanmaktadır [Purser and Bensilum, 2001].

1. Harekete geçme öncesi süreç (pre-movement time)
2. Hareket süreci

2.2.1. Harekete Geçme Öncesi Süreç

Harekete geçme öncesi süreç, alarmin çalmasıyla başlayıp, kullanıcının binadan kaçış için harekete geçmesi arasındaki süreçtir. Harekete geçme öncesi süreç, kendi içinde iki kısımda ele alınmaktadır. Birinci kısım kullanıcının olayın farkına varması, kişinin alarmı duymasıyla ilk tepkiyi göstermesi arasındaki zaman dilimidir. İkinci kısım, tepki süreci, kişinin olaya ilk tepkisini göstermesiyle, yaptığı işi bırakması, diğerlerini uyarması, olayı araştırması ve binadan uzaklaşması süreçlerin bir kısmını ya da hepsini içermektedir.

2.2.1.1.Olayın Farkına Varılması

İlk fiziksel algılama çok şüpheli bir algılamadır ve yangın olabileceğine dair pozitif bir düşünce belirmemektedir. Kullanıcıların kişisel deneyimleri ve zihinsel yatkınlıkları tehlikeyi hızla tanımlamada ön plana çıkmaktadır.

Kullanıcıların karşılaştıkları duruma göre verdikleri tepkiler farklılaşabilmektedir. Kullanıcıların binada bulunan güvenlik sistemlerine dayanarak, yangının şiddetini tahmin edebildikleri bilinmektedir [Bryan, 1995]. Kullanıcıların bina içindeki güvenlik sistemleri tarafından uyarılma şekli, alarmin ses seviyesi, tipi, anons ise, bu anons mesajının içeriği ve uyarı zamanı kullanıcıların farklı tepkilerde bulunmalarına neden olmaktadır. Bryan, [2002], araştırmasında, Proulx'un [1991] çalışmasına dayanarak, kullanıcının uyarılma şeklinin gecikme zamanını etkileyen en önemli faktör olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca Proulx ve Sime, 1969 yılından itibaren, Londra metro istasyonlarında yaptıkları boşaltım tatbikatlarında, anons sistemi ile kullanıcıları uyarmanın zil tipi alarmlara göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Ancak kullanıcıların, her iki sistemde de, bunun bir tatbikat mı yoksa gerçek bir durum mu olup olmadığı hususunda tereddüt ettikleri bildirilmektedir [Bryan, 1995].

Bryan, [1995], uyarıcı bir alarm tatbikatının genellikle bulunmadığı konutlarda kullanıcıların yangını dumanın kokusundan fark ederek harekete geçtiklerini gözlemlenmektedir (Bkz. Tablo 2.13).

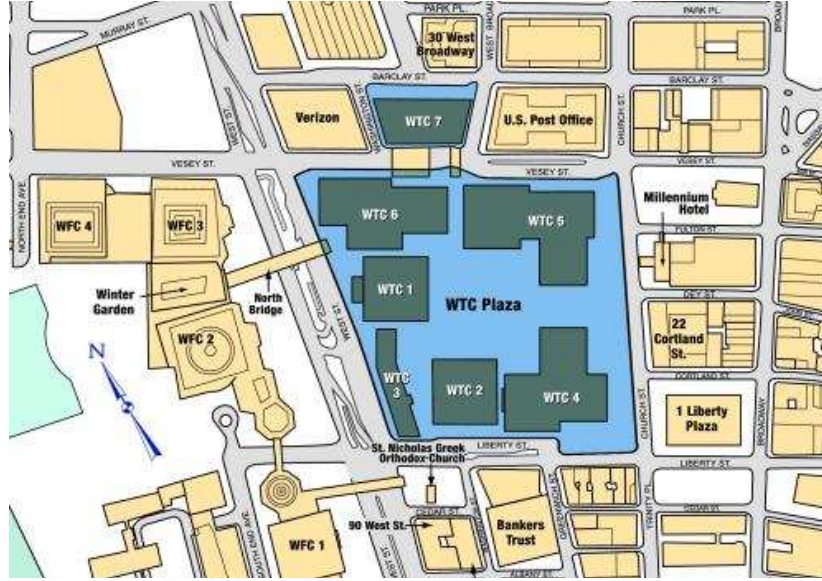
Tablo 2.13. Kullanıcıların, yangından haberdar olma şekli ve yüzdeleri [Bryan, 1995].

Haberdar olma şekli	Kullanıcı sayısı	%
Dumanın kokusunu algılayarak	148	26.6
Diğerlerinin uyarması sonucu	121	21.3
Gürültüden	106	18.6
Aile bireylerinin uyarması ile	76	13.4
Dumanı görmek sureti ile	52	9.1
Yangını görmek sureti ile	46	8.1
Patlama	6	1.1
Isıyı hissederek	4	0.7
İtfaiye görevlilerini görmek ya da duymak sureti ile	4	0.7
Elektriklerin gitmesi ile	4	0.7
Evcil hayvanlar vasıtası ile	2	0.3

Wood [1972], İngiltere’de Bryan [1977], ABD’de bina kullanıcılarının binayı boşaltmalarında ilk hareketi sağlayan unsurları incelemiştir. Tablo 2.14’te özetlenen bulgular incelendiğinde, alarm tertibatının her iki ülkede de etkili olmadığı görülmektedir. Kuşkusuz, bu durum tepki süresinin de oldukça uzun olacağının bir göstergesidir.

Tablo 2.14. Kullanıcıların yangından haberdar olma şekilleri ve oranları [Bryan, 1995].

Haberdar olma şekli	İngiltere %	ABD %
Duman	34.0	35.1
Bağrıışmalar ve sesler	33.0	34.7
Alev	15.0	8.1
Gürültü	9.0	11.2
Alarm	7.0	7.4
Diğer	2.0	2.8



Şekil 2.8. World Trade Center vaziyet planı [WTC FEMA Report, 2002].

26 Şubat 1993 Word Trade Center bombalanma olayından 100000 kişi etkilenmiştir. Kompleks 7 binadan oluşmakta ve bunlardan 6 tanesi plazanın içinde yer alırken, biri yolun karşı tarafında yer almaktadır (Bkz. Şekil 2.8). Etkilenen binalar, iki adet 110 katlı ikiz kuleyi, bir adet 22 katlı oteli ve 3 adet 6 ile 8 katlı plazaları kapsamaktadır. Her bir kulede yaklaşık 40000 kişi çalışmakta olup, günde 50000 kişi tarafından ziyaret edilmektedir. Fayh and Proulx, [1995], komplekste yer alan binalarda kazazedelerin boşaltım sırasındaki davranışlarını araştırmaya yönelik anket ve röportajları yayınlamaktadır. Tablo 2.15 ikiz kulelerde kurbanların harekete geçme uyarıcılarını sunmaktadır.

Tablo 2.15. 26 Şubat 1993 ikiz kule kurbanlarının olaydan haberdar olma uyarıcıları.

Binada alışılmadık bir şeyler olduğunu nasıl anladınız?	1. Kule	2. Kule
Patlamayı duyarak ya da hissederek	%38	%27
Elektrik kesintisinden ya da yanıp sönen uyarı işaretlerinden	%5	%11
Dumanı görerek ya da kokusunu alarak	%4	%6
Birilerinden duyarak	%5	%3
Patlama sesi ve elektrik kesintisinden	%27	%30
Patlama sesi, elektrik kesintisi, duman kokusu ve dumanı görerek	%6	%5
Patlama sesi, duman kokusu ve dumanı görerek ya da tozdan	%11	%7
Sadece patlama sesi ile ya da patlama sesi ile beraber başka işaretlerden	%84	%74
Sadece elektrik kesintisinden ile ya da elektrik kesintisi ile beraber başka işaretlerden	%40	%53

Farklı olaylar ve araştırmalar göstermektedir ki, alarm tertibatının insanları uyarmakta fazlaca bir tesiri olmamaktadır. Bu durum, Öven ve Çakıcı'nın, [2003], GYTE Rektörlük binasında uyguladıkları ve kamera ile görüntüledikleri çalışmalardan da doğrulanmaktadır. Toplam 66 kişiden ancak 6 kişi ilk 0-30 saniyede tepki göstermekte diğerleri şüphe ile etraflarına bakınmakla zaman geçirmekte oldukları anlaşılmaktadır.

2.2.1.2. Tepki Süresi (Reaksiyon Süresi)

Kullanıcıların karakteristiğine, yangın esnasında kullanıcının bilgi alma isteğine, binada bulunan diğer kullanıcıları uyarma isteğine, diğerlerine rehberlik etme ve yangınla mücadele etme isteklerine bağlı olarak, boşaltım süresinin önemli gecikmeler göstereceği işaret edilmektedir [Bryan, 1995].

Boşaltım süresi tahmininde zor olan diğer bir husus, boşaltım alarmı duyulduktan sonra ne kadar sonra kullanıcıların boşaltım eylemine başlayacağını (reaksiyon süresi) kestirilmesidir. Genel olarak kullanıcılar için geri sayım binaya alarm verildikten sonra başlamasına rağmen, yapılan tatbikatlarda gerçek durum oldukça farklı olmaktadır. Tepki süresi içinde kişiler neden alarm verildiğini araştırmakta ve binadaki diğer kişilere telefon ederek ya da konuşarak durumu algılamaya çalışmaktadırlar. Kullanıcılar binadan kaçmaları gerektiğini anladıklarında bile, boşaltım hareketine yönelmeyebilmektedirler. Kullanıcılar kaçmaya başlamadan önce ya kişisel eşyalarını almak, ya da tanıdıklarını ve yakınlarını uyarmak için zaman harcamaktadırlar [Proulx, 2003]. Tablo 2.16'da Bryan [1977], ve Wood [1972], ait çalışma bulgularına dayanarak, ABD ve İngiltere'deki kişilerin tepki süresi dahilinde sergiledikleri davranış şekilleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir [Bryan, 1995].

Tablo 2.16'dan görüleceği üzere, iki toplum arasında en önemli farklılıklar 'diğerlerini uyarma', 'giyinme', 'yangını söndürme' ve 'yangın alanına gitme' gibi davranışlarda ortaya çıkmaktadır. Bu bulgu, kültür ve karakter farklılıklarının boşaltım süresi üzerinde ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir.

Tablo 2.16. İngiltere ve ABD’inde tepki süresi esnasında davranış [Bryan, 1995].

İlk yapılan iş	İngiltere %	ABD %
Yangını arama ve yangını söndürmeye çalışma	32.7	22.6
Binayı terk etme	11.4	13.5
İtfaiyeyi arama	10.1	9.0
Diğerlerini uyarma	8.1	15.0
Aile bireylerine ulaşma	5.4	7.6
Elektrikli aletleri kapama	4.1	0.9
Yangın alanına bakan kapıları kapama	3.1	1.0
Diğerlerinin itfaiyeyi aramasını sağlama	2.8	2.2
Yangın alarmına basma	2.7	0.9
Giyinme	2.2	8.1
Hiçbir şey	2.1	2.7
Kişisel eşyalarını alma	1.2	2.1
Yakıcı malzemeyi ortadan kaldırma	1.2	1.7
Bina içine girme	0.1	1.6

Bryan, [1977], 584 kişi ile yaptığı çalışmada ilk, ikinci ve üçüncü hareketlerin ne olduğu konusunda araştırma bulgularını sunmaktadır. Tablo 2.17’den anlaşılacağı üzere, kişilerin ilk hareketleri yine direkt kaçışa yönelik olmamaktadır.

Kişilerin yangın karşısında sergiledikleri hareketlerin cinsiyete göre değişim gösterebildiği ayrıca rapor edilmektedir [Society of Fire Protection Engineers, 2002]. Örneğin erkeklerin yangını söndürmeye daha yatkın oldukları gözlemlenirken, bayanların diğer kullanıcıları uyarmaya ve diğerlerinin binayı boşaltmasında yardımcı olmaya çalıştıkları anlaşılmaktadır (Bkz. Tablo 2.18).

Bu sonuç, diğer çalışma bulgularınca da desteklenmekte ve cinsiyetler arasında ‘yangını arama’, ‘aile bireylerine ulaşma’, ‘binayı terk etme’, ‘itfaiyeyi arama’, ‘giyinme’, ‘yangın söndürücü arama’ ve ‘diğerlerini uyarma’ hususunda, büyük farklılıklar görüldüğü rapor edilmektedir [Bryan, 1995].

Tablo 2.17. Yangında kullanıcıların ilk, ikinci, ve üçüncü hareketleri ve yüzdeleri.

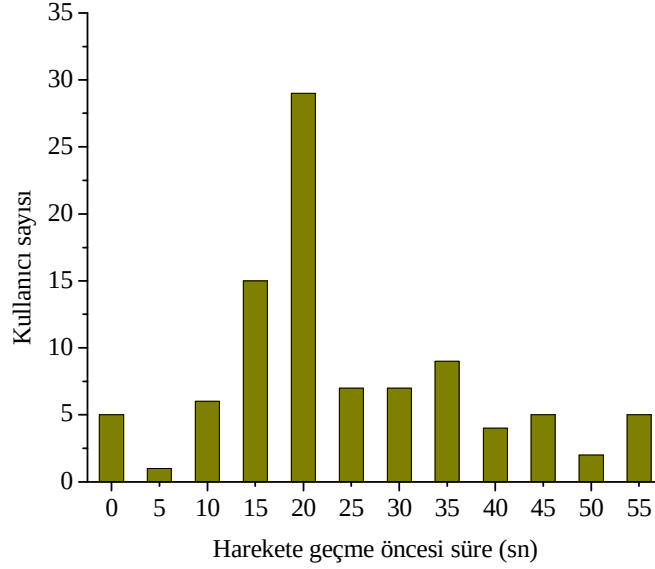
Hareketler	1. hareket %	2. hareket %	3. hareket %
Yangın alanına gitme	41.5	16.3	25.8
Diğerlerini uyarma	15.0	9.6	5.8
Binayı terk etme	13.5	26.1	37.5
İtfaiyeyi arama	9.0	14.6	12.7
Giyinme	8.1	1.8	0.3
Aile bireylerine ulaşma	7.6	5.9	1.4
Diğer	3.9	8.8	6.6
Uyanma	3.1	0	0
Hiçbir şey	2.7	0	0
Diğerlerinin itfaiyeyi aramasını sağlama	2.2	4.0	4.1
Kişisel eşyalarını alma	2.1	3.8	0.8
Yakıcı malzemeyi ortadan kaldırma	1.7	1.0	1.1
Yangın alarmına yönelme	1.6	1.8	1.1
Bina içine girme	1.6	0.8	1.1
Yakınlarını telefonla arama	1.2	0.6	1.1
Yangın alanına bakan kapıları kapama	1.0	0.2	0.3
Elektrikli aletleri kapama	0.9	0.6	0.3
Yangın alarmına basma	0.9	0.6	0.5
Evcil hayvanları kontrol etme	0.9	1.4	0.5
Balkona çıkma	0.2	0.8	2.7
Kapı ve pencereleri açma	0.2	0.4	1.1
F.D.nin gelmesini bekleme	0	1.0	3.6
İtfaiye tarafından kurtarılma	0	0	1.6

Tablo 2.18. Cinsiyete göre yapılan hareketlerin değişimi [Bryan, 1995].

İlk hareket	Bay %	Bayan %
Yangını arama	31.4	15.7
Diğerlerini uyarma	16.3	13.8
Binayı terk etme	10.3	16.1
İtfaiyeyi arama	6.1	11.4
Giyinme	5.8	10.1
Uyanma	3.8	2.5
Aile bireylerine ulaşma	3.4	11.0
Diğerlerinin itfaiyeyi aramasını sağlama	3.4	1.3
Hiçbir şey	2.7	2.8
Bina içine girme	2.3	0.9
Yangın alarmına yönelme	2.2	2.5
Kişisel eşyalarını alma	1.5	2.5
Yakıcı malzemeyi ortadan kaldırma	1.1	2.2
Yakınlarını telefonla arama	0.8	1.6
Yangın alanına bakan kapıları kapama	0.8	1.3
Elektrikli aletleri kapama	0.8	0.9
Evcil hayvanları kontrol etme	0.8	0.9
Diğer	6.5	2.5

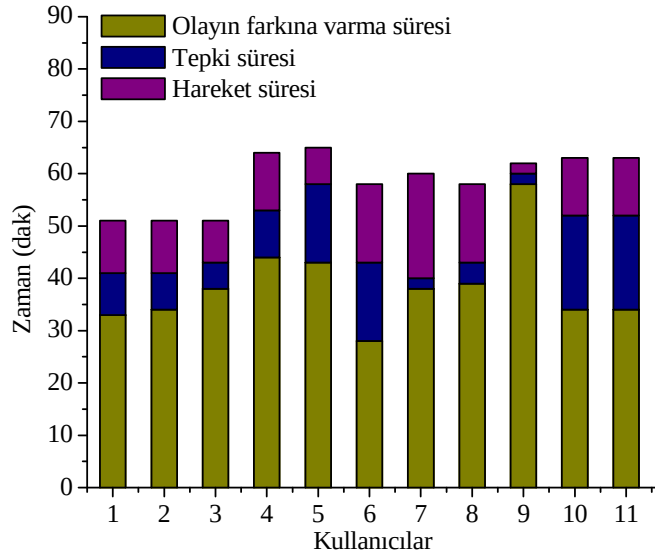
Shields, et. al., [2000], 500 kullanıcının yer aldığı 9000 m²'lik ve 13 farklı çıkışı bulunan bir mağazada boşaltım çalışması yürütmüşlerdir. Boşaltımla ilgili bulgular kullanıcılara tatbikat sonrası uygulanan anket çalışması ve kritik noktalara

yerleştirilen kamera görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir. Tatbikat esnasında kamera tarafından tespit edilen 95 kullanıcı için harekete geçme öncesi (pre-movement) süreleri Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Kullanıcıların harekete geçme öncesi (pre-movement) süresine göre dağılımları [Shields, et. al., 2000]

Purser and Bensilum, [2001], bir restoranı da bünyesinde bulunduran bir alışveriş merkezinde sesli anons sistemi kullanarak yaptıkları boşaltım tatbikatında, kullanıcıların boşaltım esnasında en çok vakit harcadıkları evrenin hareket süreci değil, olayın farkına varma evresi olduğunu rapor etmektedir. Şekil 2.10’da kullanıcıların olayı fark etme süreleri, tepki süreleri ve boşaltım ya da hareket süreleri gösterilmektedir. Kullanıcıların, toplam sürenin %65’ini olayı anlamakta, %16’sını tepki göstermede ve %19’unu da kaçış için harcadıkları anlaşılmaktadır. Harekete geçme öncesi sürecininin (pre-movement) toplam sürenin %81’ini oluşturduğu ve bina boşaltım modellerinde göz ardı edilmemesi gerektiği ortadadır. ‘buildingEXODUS’ yazılımında her kullanıcı için hem olayın farkına varma süresi değerlendirilebilmekte, hemde boşaltım hareketine geçmeden tepki sürecinde yapılması muhtemel aktiviteler için bir süre belirlenebilmektedir. Dolayısı ile hareket öncesi süre boşaltım modellemesinde bütünüyle ele alınabilmektedir.



Şekil 2.10. Kullanıcı davranış süreleri [Purser and Bensilum, 2001].

2.2.2. Hareket Süreci

Bu süreç, kullanıcının binadan kaçış için harekete geçmesi ile başlayıp, kullanıcının binayı tamamen terk etmesi ya da bina içinde yangın güvenliği sağlanmış bir bölgeye ulaşmasına kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır [Purser and Bensilum, 2001]. Bu süreçte üç ana unsur, kullanıcının hareket tarzını belirlemektedir:

1. Kullanıcı çıkış yolu bilgisi
2. Duman engeliyle karşılaşınca kullanıcının davranış biçimi
3. Kullanıcının duman içindeki hareketi

2.2.2.1. Kullanıcı Çıkış Yolu Bilgisi

Çıkış yolu bilgisi, kullanıcının bulunduğu binaya ait muhtemel çıkış rotası ve kapılarına ne kadarına hakim olduğunun bilinmesiyle ilgilidir. Kullanıcının binayı tanıma düzeyi, kişinin kişisel deneyimi ve onu yönlendiren dış faktörler olmak üzere iki ayrı başlık altında ele alınmaktadır. Dış faktörler; bina işaretlemelerinin etkisi, diğer kullanıcıların etkileri ve bina boşaltım sorumlusunun etkisi olarak sıralanmaktadır.

Kullanıcı kişisel deneyimi sayesinde binayı iyi tanıyorsa, alternatif çıkış yollarını diğerlerinin bloke olması durumunda kullanabilmektedir. Çoğu yönetmelik kullanıcıların kendilerine en yakın çıkışı kullanarak kaçacağını varsaymaktadır. Oysa ki, kullanıcılar her zaman çok aşına oldukları çıkış yolunu tercih etmektedirler. Böylelikle kendilerini daha güvende hissetmektedirler. Kişi ancak binayı çok iyi tanıyorsa, en yakın çıkıştan binayı terk etmek isteyecektir [Gwynne, et. al., 1999]. Ayrıca Bowlby, [1973], ve Mawson, [1980], kaçış esnasında kullanıcının bildiği mekanlara ya da tanıdığı kişilere doğru yöneldiği konusunda fikir birliği içerisinde [Sime, 1985].

Kullanıcılar yanan binadan kaçarken panikle sadece bir kaçıya yönelirler, genellikle yığılmalarda bu çıkışta yaşanır. Bu davranış biçimi irrasyonel gibi gözükse de, diğer çıkışların bilinmemesinden kaynaklı bir davranış biçimidir. Başka çıkışların bilinmemesi halinde, çaresizlik saldırgan tavırları beraberinde getirebilmektedir. Londra, King's Cross tren istasyonu yangınında da benzer bir durum yaşanmış ve kullanıcılar, diğer çıkışların varlığına rağmen her zaman kullandıkları ve bildikleri çıkışta sıkışmışlardır [Sime, 1985].

Sime, [1985], birbirlerine zıt yönde konumlandırılmış biri giriş, diğeri acil kaçış kapısı olmak üzere, iki adet kapısı olan büyük bir mekanda kullanıcıların tercih ettiği kaçış rotalarını ve kaçış tercihlerini incelemektedir. Bu çalışmada kullanıcılar, binada bulunma nedenlerine –çalışan veya ziyaretçi- konumlarına -girişe yakın, yangına yakın ya da yangın merkezinde- ve binayı terk ettikleri çıkışa göre üç ayrı kategoride sınıflandırılmışlardır. Binada bulunan 14 çalışan ve 61 ziyaretçinin yangın esnasında binayı terk etmede kullandıkları çıkış tercihleri Tablo 2.19'da özetlenmektedir.

Tablo 2.19. Büyük mekan yangından kaçış sonuçları [Sime, 1985].

Çıkış tercihi	Ziyaretçi	Çalışan	Toplam
Giriş kapısı	37	1	38
Acil çıkış kapısı	24	13	37

Tablo 2.19'dan, binayı en az tanıyan ziyaretçilerin sadece %39'unun acil çıkış kapısını, bina kullanıcısı olan ve binayı iyi tanıyan çalışanların ise %93'ünün acil

çıkış kapısını kullandıkları görülmektedir. Bu sonuç, kullanıcıların binayı iyi bilmemesi durumunda, acil çıkış kapılarını kullanmadıklarını vurgulamaktadır [Sime, 1985].

Konu ile ilgili bilimsel çalışma bulguları, bina yangın yönetmeliklerinde önemle üzerinde durulan kaçış uzaklığının çok ta önemli bir kriter olmadığını ispatlamaktadır. Gelişmiş boşaltım modelleri bu tür davranışları değerlendirseler de, çoğu bireysel davranış yerine grup davranışını ele almaktadırlar. ‘buildingEXODUS’ yazılımında kullanıcıları birey ya da grup olarak tanımlayarak çıkış yolu bilgisini modellemek mümkündür. Yazılımda otomatik ve manuel olmak üzere iki opsiyon sunulmaktadır. Eğer manuel opsiyon tercih edilirse, kullanıcının kaç çıkış bildiğinin girdi olarak tanımlanması gereklidir. Bilgi verilmediği taktirde ise, kullanıcının en yakın çıkıştan binayı terk edeceği varsayımı yapılmaktadır. Otomatik opsiyon seçeneğini kullanılırsa, grup kullanıcılarının çıkış bilgileri probabilistik olarak tanımlanmalıdır.

Kullanıcı çıkış bilgisi ‘OEK’ (occupant exit knowledge) belirlendikten sonra, çıkış önceliğinin de belirlenme zorunluluğu vardır. ‘Normal’ davranış kaçış simülasyonu, kişileri veya grubu kaçış yolu önceliğine göre çıkışlara yönlendirmektedir. Eğer ‘ekstrem’ davranış opsiyonu seçilirse, sadece en kısa mesafeler göz önünde bulundurularak kaçış simüle edilmektedir.

‘buildingEXODUS’ yazılımında, bilimsel çalışma eksikliği nedeni ile, kullanıcıların birbirleriyle olan haberleşmesi ve etkileşimi ya da bina acil durum işaretlemelerinin etkisi henüz değerlendirilememektedir [Gwynne, et. al., 1999].

2.2.2.2.Duman Engeliyle Karşılaşınca Kullanıcının Davranış Biçimi

Kullanıcıların duman engeli ile karşılaştıklarında sergiledikleri davranış bir çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faktörler kullanıcının cinsiyeti, yaşı, binayı tanıma derecesi, duman yoğunluğu, dumanın zehirleyici etkisi, kullanıcının binayla olan ilişkisi (daimi kullanıcı ya da ziyaretçi), yangının günün hangi zaman aralığında çıktığı vb. sıralanmaktadır.

Bu faktörler kullanıcıları aynı oranda etkilememektedir. Ayrıca, bu faktörlerin duman içine girme riskini nasıl etkilediğine dair bir bilimsel bulgu mevcut değildir. Gwynne, et. al., [1999], duman içine girme davranışına karar verme mekanizmasını iki koşula bağlamaktadır:

1. Kullanıcı duman engeliyle karşılaştığı zaman çıkışı görebiliyorsa, duman içinden geçip çıkışa ulaşmayı göze alabilmektedir.
2. Duman engelinin öbür ucu görünmüyorsa, ve binada başka çıkış yolları varsa, ve kullanıcı bu kaçış rotalarını biliyorsa, duman engelini gördüğü zaman kullanıcı alternatif kaçış rotasına yönlenebilmektedir.

Böylece duman içine girme davranışı, dumanın yoğunluğuna, görüş mesafesine, duman içinde kullanıcının kat etmesi gereken mesafeye ve kullanıcının çıkış bilgisine göre değerlendirilebilmektedir. Kullanıcıların, duman içinde görüş mesafesinin 20 metreden yüksek olduğu durumlarda, duman içine güvenlik endişesi taşımadan girebildikleri, duman içindeki görüş mesafesinin 3 metrenin altına düştüğü durumlarda ise duman içine girme riski almadıkları belirtilmektedir [Bryan, 1995]. Tablo 2.20 incelendiğinde, Bryan, [1977], İngiltere’de ve Wood, [1972], ABD’de yaptıkları çalışmaların yukarıdaki bulguyu desteklediği anlaşılmaktadır.

Tablo 2.20. ABD ve İngiltere’deki kullanıcıların karşılaştırmalı olarak görüş mesafesi-duman içine girme davranış yüzdeleri [Bryan, 1995].

Görüş mesafesi	İngiltere %	ABD %
0-2	12	10.2
3-6	25	17.2
7-12	27	20.2
13-30	11	31.7
31-36	3	2.2
37-45	3	3.7
46-60	3	7.4
>60	17	7.4

Bryan, [1995], çalışmasında kullanıcıların ulaşmaları gereken mesafenin görüş mesafesine eşit olması halindeki duman içine girme riskini almak istemediklerini göstermektedir (Bkz. Tablo 2.21).

Tablo 2.21. Görüş mesafesi-duman içine girme ilişkisi [Bryan, 1995].

Yürünmesi gereken mesafe	Kullanıcı sayısı	%
Görüş mesafesinden fazla	170	46.4
Görüş mesafesine eşit	128	35.0
Görüş mesafesinden az	68	18.6

Benzer şekilde, Tablo 2.22’de, görüş mesafesinin 12 metrenin altına düşmesi durumunda, kullanıcıların %75’i ile %90’ının geri dönmek suretiyle, duman içine girmedikleri anlaşılmaktadır.

Tablo 2.22. Dumanda görüş mesafesi ve kullanıcıların geri dönme yüzdeleri [Bryan, 1995].

Görüş mesafesi	İngiltere %	ABD %
0-2	29.0	31.8
3-6	37.0	22.3
7-12	25.0	22.3
13-30	6.0	17.6
31-36	0.5	1.3
37-45	1.0	0
46-60	0.5	4.7
>60	1.0	0

25 katlı bir bina yangını üzerinde çalışma yapan Proulx, [1998], duman engeliyle karşı karşıya kalan kullanıcıların %34’ünün duman içinden geçtiğini, %30’unun yön değiştirerek farklı rota arama yoluna başvurduğunu ve %11’ininde güvenli bir mekan aradığını bildirmektedir. Sadece %10’unun ikinci bir alternatif çıkıştan faydalandıkları rapor edilmektedir [Gwynne, et. al., 2001].

Proulx and Fahy, [1994], Newyork World Trade Center binasında yapmış olduğu çalışmada birinci kuledeki kullanıcıların %94’ünün, ikinci kuledeki kullanıcıların ise %70’inin duman içine girmek suretiyle, binayı terk ettikleri rapor edilmektedir. Duman içinde hareket eden kullanıcıların %75’i nefes alma zorluğu, görüş yetersizliği, korku ve benzeri sebeplerden dolayı geri dönmek zorunda kaldıkları ayrıca belirtilmektedir [Fayh and Proulx, 1995].

Bu konu hakkındaki diğer çalışmalar Bryan, [1977] ve Wood, [1972] tarafından rapor edilmektedir. Bryan’nın 335 yangın olayında 584 kullanıcı ile Wood’un ise, 952 yangın olayında 2193 kullanıcı ile çalışma yaptıkları rapor

edilmektedir. Bu çalışmalardan şu sonuçlar elde edilmektedir; Wood'un [1972], çalışmasındaki kullanıcıların %88'i duman içine girmekte bunların %40'ı dumandan dolayı hareket edememekte, %60'ı ise duman engelini aşmaktadır. Bryan'nın [1977], çalışmalarına göre kullanıcıların %62.7'si duman içine girmekte, %18'i ise yeni rota aramaktadır [Bryan, 1995].

Duman engeliyle karşı karşıya kalındığında davranışı yönlendiren bir diğer faktör ise cinsiyettir. Brennan, [1995], ve Wood'un [1972], çalışmaları kadınların erkeklere oranla dumana girme oranının %20 daha az olduğu bilinmektedir [Gwynne, et. al., 2001].

'buildingEXODUS' yazılımı kullanıcıların duman içine girme davranışını Jin'in [1976] deney bulgularına dayanarak modellemektedir. Kullanıcıların duman engeliyle karşılaştıklarında yön değiştirme hareketini yapabilmeleri için ışık tutma katsayısının (extinction coefficient) 0.1 m^{-1} in altında olması gerekmektedir.

λ dalga boyu ve ' I_o^λ ' ışık akısına haiz tek renkli ışık ışınının ' I_λ ' ışık akısına sahip duman içerisinde ' L ' uzunluğunca hareket eden herhangi bir ışık ışını ile ilişkisi Bouguer kanunu ile ifade edilmektedir (Bkz. Denklem (2.20)).

$$I_\lambda / I_o^\lambda = 10^{-DL} \quad (2.20)$$

Bu ifadede 'D' parametresi birim metre uzunluk için optik yoğunluğu vermektedir. Optik yoğunluk, ışık tutma katsayısı cinsinden Denklem (2.21)'de ifade edilmektedir.

$$D = K / 2.3 \quad (2.21)$$

Burada 'K', ışık tutma katsayısını temsil etmektedir. Işık tutma katsayısı, birim kütle duman partikülünün engellediği m^2 ye düşen ışık akısını (m^2/g) vermektedir.

Değişik yanma ürünleri için bu değer yaklaşık $7.6 \text{ m}^2/\text{g}$ alınabilmektedir [Mulholland, 1995]. Böylece ışık tutma katsayısı Denklem (2.22) yardımıyla elde edilebilmektedir.

$$K = K_m M \quad (2.22)$$

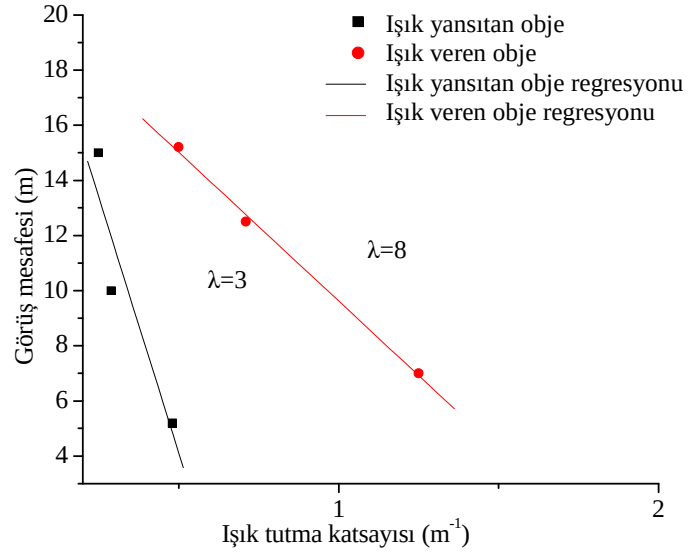
Burada ' K_m ', $7.6 \text{ m}^2/\text{g}$, ' M ' ise birim hacim havada oluşan yanma ürünlerinin kütesini ifade etmektedir. Görüş mesafesini ' v ', Jin'in [1976], deneysel bulgularına bağlı olarak Denklem (2.23) ile hesaplanabilmektedir. Jin [1976], bu çalışmasında, kullanıcıları, koruyucu (göz kırpmaya karşı) gözlük takmak suretiyle yanmakta olan ahşap karyolanın çıkarmakta olduğu beyaz dumana maruz bırakmaktadır.

$$v = \frac{\lambda}{K} \quad (2.23)$$

Burada ' λ ' deneysel çalışma bulgularının regresyon katsayısını vermekte olup, iki aralık arasında değişmektedir ($\lambda=3-8$). Şekil 2.11'de $\lambda=3$ katsayısı ışık yansıtıcı objelerin görülmesini, $\lambda=8$ ise ışık veren objelerin görülme mesafelerini tanımlamaktadır.

'buildingEXODUS' yazılımında λ katsayısı güvenli olması açısından 2'ye eşit kabul edilerek duman içerisinde muhafazakar bir görüş mesafesi hesaplanmaktadır.

Duman engeli ile karşılaşıldığında, kadınların erkeklere oranla %20 daha fazla geri dönme eğiliminde oldukları kabulü yapılmaktadır.



Şekil 2.11. Dumanlı ortamda, ışık yansıtan ve ışık veren objelerin ışık tutma katsayısı-görüş mesafesi ilişkisi [Jin, 1976].

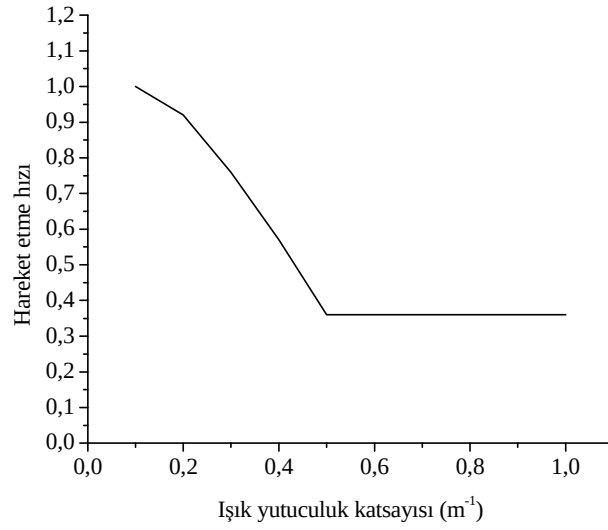
2.2.2.3. Kullanıcının Duman İçindeki Hareketi

Kullanıcıların duman içine girme nedenleri arasında, yangını söndürmek, başkalarını yangına karşı uyarmak ve binadan kaçmak yer almaktadır. Kullanıcının duman içine girmeye karar verme sürecinde, kullanıcının çıkış yolunu kafasında canlandırılabilir olması, kaçış uzaklığının tahmin edilebilir olması ve ısının varlığı etkili olmaktadır [Bryan, 1995].

Bireyin duman içindeki davranışı üzerine tek çalışma Jin'in [1976] deneysel çalışmalarıdır. Gwynne, et. al., [2001], rapor ettiği bu araştırmada, bir mekan ışık tutma katsayısı $1.5 m^{-1}$ olacak şekilde gazla doldurmuş ve kullanıcıların bu mekan içindeki hareket davranışları incelemiştir. Çalışma sonuçları aşağıda özetlenmektedir:

1. Duman içindeki insanın hareket hızı düşmektedir. Işık tutma katsayısına bağlı olan hareket hızı Şekil 2.12'de verilmektedir.
2. Kullanıcılar, dumanlı ortamda görüşleri kısıtlandığından ideal bir rota ve yön belirleyememekte ve düz bir rota üzerinde yürüyememektedirler.

3. Mekan dar ise, kişi yolunu bulabilmek için mekanın duvarını kendine kılavuz olarak belirlemekte ve duvar boyunca tutunarak yolunu bulmaya çalışmaktadır.



Şekil.2.12. Jin'in [1976] çalışması sonucu dumanın kullanıcı hareketine olan etkisi [BuildingEXODUS V3.01, 2001].

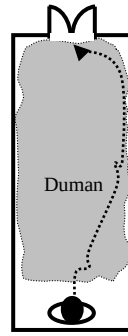
Gwynne, et. al., [2001], Beverly Hills Supper Club, yangınında elde ettiği vurgulara dayanarak Jin'e [1976], benzer yargılara varılmaktadır. Jin [1976], duman içindeki insan hareketleri üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda, ışık tutuculuk katsayısına bağlı olarak kullanıcı hareket hızını Denklem (2.24)'te verildiği gibi hesaplamaktadır [BuildingEXODUS V3.01, 2001].

$$M = -2.08K^2 - 0.38K + 1.06 \quad (2.24)$$

Burada, 'M' kullanıcının duman içinde olan hareket hızını, 'K' ışık tutma katsayısını temsil etmektedir.

'buildingEXODUS' yazılımı duman içindeki insan hareketini Jin'in [1976] çalışmalarına göre modellemektedir. Eğer kişi merdivenlere veya çıkışa çok yakın bir konumdaysa (çıkışı görebiliyorsa), yazılım, kişinin dumansız ortamdaymış gibi hareket etmesine izin vermektedir. Yazılım ışık tutma katsayısı 0.5 m^{-1} düştüğü zaman, kişinin emekleme hızı ile hareket ettiğini kabul etmektedir.

Yangında, bir mekanda ışık tutma katsayısı 0.1 ve 0.5 m⁻¹ arasına düşebilmektedir. Görüş mesafesi azaldıkça kişi rotasını belirlemede zorlanacağı için yalpalama hareketi yapmakta ve kaçış uzaklığını uzatmaktadır [Gwynne, et. al., 2001]. Yazılım, bu yalpalama hareketini modelleyebilmektedir. Dumanlı ortamda kullanıcının yakın çevresindeki modüllerde duman optik yoğunluğunun bilinmesi halinde, hareket duman yoğunluğunun az olduğu modüllere yönlendirilmektedir. Bu da yalpalama hareketinin oluşmasına yol açmaktadır. Mekanın dar olması durumunda, kişi mekanın duvarına ulaşana kadar yalpalamakta, duvara ulaştığında ise duvarı takip ederek ilerlemektedir (Bkz. Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Kullanıcının dumanlı dar bir ortamda hareketi.

2.3. Boşaltım Modelleri ve Uygulamaları

Matematik modeller kullanmadan binanın boşaltım süresi performansı geleneksel olarak iki farklı yöntemle ele alınmaktadır [Gwynne et. al, 1999]:

1. Boşaltım tatbikatları.
2. Yangın güvenliği yönetmeliklerinin belirlediği standart ve kurallara uymak.

Boşaltım tatbikatları kullanıcıların yaralanmalarına yol açabilmekte ve gerçek bir olay olmaması nedeniyle etik açıdan da uygun olmamaktadır. Denekler gerçek bir acil durumda olduğu gibi, duman, ateş ve yıkıntılarla karşılaşmadıklarından, psikolojik davranışlar gözlemlenememektedir. Bu yöntemle, çoğunlukla tek bir boşaltım denemesi doğru kabul edilmektedir; ancak tek bir denemeye bağlı olarak birtakım yargılara varmak, probabilistik koşulların yoğun olarak işlediği bir süreçte saygın olması beklenmemelidir [Gwynne et. al., 1999]. Diğer bir problem ise, bu yöntemin ancak bina inşa edildikten sonra kullanılabileceği gerçeğidir. Böylece egzersizde, gerçek bir acil durum davranışına ilişkin çok az reel bilgi sağlanabilmektedir. Dahası, bu yöntem birtakım uygulama sorunları ve maddi güçlükler içerebilmektedir.

Yangın güvenliği yönetmeliklerinde verilen çoğu katı kuralın bilimsel dayanağı, günümüz koşullarında, geçerliliğini kaybetmektedir. Tasarım serbestisini de olumsuz etkileyen bu kurallar serisi, binanın plan şekline, çıkış kapısı sayısına ve genişliklerine, kaçış uzaklığına, merdiven kovalarına, koridor genişliklerine, hatta korkuluk yüksekliklerine müdahale etmektedir. Isı, zehirli gaz ve yoğun dumanın tanımladığı, yangın fiziksel çevresel koşullarının çıkış yolunu bulabilme kabiliyeti üzerindeki etkisi sadece acil işaret levhaları, ışıklılandırma kuralları ile sağlanmaktadır. Ancak bu tanımlı kuralların yeterli olup olmadığına dair bir bilimsel kanıt olmadığı gibi, diğer önlem ve koşullarla etkileşiminin nasıl sonuçlar yaratacağı da bilinmemektedir.

Boşaltım süreci analizinde vazgeçilmez unsurlar olan; mimari plan formunun, yangın çevresel koşullarının ve kullanıcı psiko-fiziksel yapısının etkilerini bir arada

değerlendirebilecek tek yöntem bilgisayar ortamında ileri boşaltım analizi yazılımlarının kullanılmasıdır.

Normal ve acil koşullar altında, insan hareketlerinin ölçüm araştırmaları son otuz yılda yapılan çalışmalarla kısmi olarak ortaya konulabilmiştir. İlk çalışmalar, insan hareketlerini acil koşulların olmadığı kalabalık alanlarda ve merdiven basamaklarında incelemektedir [Predtechenskii ve Milinskii, 1969; Fruin, 1987]. Günümüze kadar devam eden konu ile ilgili araştırmalar, gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak, üç ayrı kategoride değerlendirilmektedir [Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1992]:

1. Boşaltım süresinin bir süre limiti olarak hesaplanmasına olanak tanıyan ampirik formüller,
2. Basit matematiksel modeller,
3. Bilgisayar tabanlı, gelişmiş simülasyon modelleri.

Geleneksel olarak acil durumları değerlendirmeyen, standart insan hareket hızlarının ve mekansal boyutların bir fonksiyonu olarak tanımlanan basit ampirik bağıntılar, ve bu bağıntılara bağlı olarak empoze edilen mimari eleman boyut sınırlamaları gelişmiş batılı ülke standart ve yönetmeliklerinden bilinmektedir [Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1992]. Bina güvenliği ile ilgili çoğu kaynakta ve mimari eğitimde çoğunlukla bilinen ve günümüzde geçerliliğini kaybetmiş kural ve prensipler konu ile ilgili çalışmaların bu ilk basamağına dayanmaktadır [Olsson and Regan, 2001; Notake, et. al., 2001].

BS 5588 [BSI, 1983] ve Londra metropolü yangın yönetmeliği [Greater London Council Code of Practice, 1974] boşaltım süresinin belirlenmesinde, geçmiş yangın tecrübelerine bağlı olarak, bir takım kabuller yapmaktadır. Bu kabullere göre birim genişlikten dakikada geçen insan akışı 40 kişi, kat boşaltım süresi ise 2,5 dakika olarak tavsiye edilmektedir. Merdiven kovalarının tasarımı, tavsiye edilen akış hızının gerçekleşmesi için gerekli genişliklerin, basamaklarda 1m genişliğe bir kişinin sığacağı ve sahanlıklarda $0,3m^2$ 'yi bir insanın işgal edebileceği varsayımına

göre yapılmaktadır. Denklem (2.25), bu varsayımlara dayandırılan merdiven kovasının taşıyabildiği insan kapasitesini ‘P’ vermektedir.

$$P = p n + (t_e - t_s) r w \quad (2.25)$$

Burada, ‘p’ herhangi iki kat arasındaki merdiven kapasitesini, ‘n’ o katın üzerindeki kat sayısını, ‘w’ merdiven kovası genişliğini, ‘t_s’ ise bir kişinin 3 metrelik kat seviyesini, merdiveni kullanarak katetme süresini (0.4 dak.) simgelemektedir. Diğer parametreler, ‘t_e’ ve ‘r’ sırasıyla, tavsiye edilen kat boşaltım süresini (2.5 dak.) ve birim genişlikten dakikada geçen insan sayısıdır (40 kişi/m dak.).

Katların 2.5 dakikada boşaltılması koşulunu sağlayacak biçimde, boşaltım süresini tahmin eden farklı ampirik formüller Denklem (2.26) ve (2.27)’de gösterilmektedir [Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 1992].

$$T_e = 200 b + (18 b + 14 b^2)(n - 1) \quad (2.26)$$

$$T_e = \frac{\sum_{i=k}^n Q_i}{N' b_{k-1}} + k t_s \quad (2.27)$$

Denklemlerde, ‘Q’ her kattaki insan sayısını, ‘n’ toplam kat sayısını, ‘b’ merdiven kovası genişliğini, ‘N’ akış hızını, ‘k’ kat sayısını simgelemektedir. Anlaşılaçağı üzere, bu yöntemlerle tahmin edilen süreler bilimsel ve gerçekçi olmaktan uzaktırlar.

Boşaltım modelleri, sadece insan hareketlerini içeren modeller, ve davranış psikolojisini ile insan hareketlerini birlikte değerlendirebilen modeller olarak 2 ayrı kategoriye ayrılmaktadır. Birinci kategorideki modellerde, bir bina parçasının barındırabileceğı maksimum insan sayısı temel alınarak, hareketin dış etkenlerden otomatik olarak etkilendiğı ve düşünmeyen bireylerce oluşturulduğı kabul edilmektedir. ‘Ball-bearing’ olarak nitelendirilen bu modellerde, kullanıcıların yürüttükleri aktiviteyi derhal sonlandırıp, binayı terk etmeye başladıkları

varsayılmaktadır. Yön ve boşaltım hızı kişi yoğunluğuna ve çıkış kapasitesine göre düzenlenmektedir. Kişisel hareketler ele alınmamakta, kitlesel hareketler değerlendirilebilmektedir. İkinci kategorideki modeller, kapsamlı ya da gelişmiş boşaltım modelleri olarak bilinmekte, ve kullanıcıların bireysel davranışlarını; kişisel tepki süresini, çıkış bilgisini ve tercihini, yangın etkilerine karşı hareket tepkisini göz önüne alabilmektedir.

Çağdaş and Sağlamer, [1995], ofis, okul ve hastane binaları gibi kullanıcı yoğunluğu yüksek binalarda boşaltım süresinin önemli bir güvenlik kriteri olduğunu vurgulamaktadır. Yazarlar, binanın plan formunun ve boyutlarının boşaltım süresinde etkili olduğunu varsayarak, binayı düğüm noktaları ve bağlantı hatlarından oluşan bir ağ sistemi ile temsil etmektedirler. Geliştirilen algoritma, temel olarak, iki ayrı kısımda ele alınmıştır: 1. Binanın geometrisinin düğüm noktaları ve bağlantı hatları ile modellenmesi, 2. İnsan hareketlerinin hareket hızına ve yoğunluğa göre, belirlenen ağ sisteminde, akış karakteristiğinin hesaplanması. Makalede ele alınan okul binasında, genel geometri sınıf ve koridorlardan oluşmakta, her sınıf ve koridora açılan kapı birer düğüm noktası ile temsil edilmektedir. Her sınıf ta, kendi içinde öğrencilerin sıralarda oturma konumlarını temsil eden düğüm noktaları ile, sınıf içi koridorlarla kesişim noktalarını ifade eden düğüm noktalarından teşkil edilmiş bir ikincil ağ sistemi ile temsil edilmektedir. Düğüm noktalarının arasındaki bağlantılar bir seri hücre ile teşkil edilmektedir. İki düğüm noktası arasındaki hücre sayısı, düğüm noktası yoğunluğuna göre belirlenen hareket hızına bağlı olarak, geçiş süresi/birim süre oranı kadar belirlenmektedir. Dolayısı ile her bir hücre birim geçiş süresine (period) sahiptir. Düğüm noktasında yoğunluğun artması ve hızın düşmesi ile hücre geçiş süresinin düşmesi halinde, ilgili hücrenin alt hücreleri (sub-cells) oluşturularak, kuyruk ve sıkışmalar modellenebilmektedir. Algoritma, genel geometriyi, sınıf geometrisini, ve her düğüm noktası ve hücrede kapasite ve akış hızını birim geçiş süresi aralıklarında kontrol edebilecek biçimde, matrislerle ifade ederek, bilgisayar ortamında işleme uygun hale getirmektedir. İnsan hareketinin modellenmesinde, yazılım sadece daha önce belirlenen sabit bir rota üzerinden hesap yapabilmektedir. Rota üzerindeki bir hücreden diğerine geçen insan sayısı, intikal edilen hücredeki insan sayısına eklenmekte, daha sonra da bu sayıdan düğüm noktasını terk eden insan sayısı çıkarılmaktadır. Farkın sıfır ya da negatif bir sayı olması halinde bekleme olmadığı, tersi durumda ise beklemenin olduğu tespit

edilerek, ağ sistemine yeni alt hücreler eklenmektedir. Bir okulda aynı koridor üzerinde konumlanan 4 sınıfın kademeli olarak boşaltılması, 5 gün üst üste video kamera ile yapılan çekimlerle gerçekleştirilmiş, ortalama boşaltım süreleri ile simülasyon süreleri makalede karşılaştırılmıştır. Bir sınıf için her bir öğrencinin sınıfı terk etme süreleri karşılaştırıldığında, uyumlu sonuçlar elde edilse de, kişisel davranış farklılıklarının, boşaltım süresinin tahminin de çok etkili olabileceği yazarlarca ifade edilmektedir. Makalede ayrıca, kritik düğüm noktalarında, her bir zaman diliminde, kaç kişinin geçmiş olduğu histogramlarla sunulmakta, ve yoğunluk noktaları belirlenmektedir. Kimi noktada belli zaman aralıklarında maksimum insan yoğunluğunun ($0.27m^2/kışı$) erişildiği ve hatta aşıldığı görülebilmektedir.

Lovas, [1998], stokastik bir yaklaşımla geliştirilen ‘EVACSIM’ boşaltım yazılımının analiz algoritmasını sunmaktadır. Yazar, algoritmanın yaklaşımını Hampton Court labirentini kullanarak açıklamaktadır. Matematiksel model, bina planını düğüm noktası ve bağlantılardan kurulu bir ağ sistemine (Markov zincir teorisi) dönüştürmektedir. Modelde, kullanıcının davranış psikolojisini içeren girdiler, belirli bir hareketin oluşması için öngörülen olasılık yüzdesini arttıran ya da azaltan katsayılarla değerlendirilmektedir. Dokuz ayrı stokastik yaklaşım algoritması ele alınmaktadır. Birinci yaklaşımda, (Random choice) kişinin düğüm noktasında yönleneceği doğrultunun her bağlantı için eşit olasılıkta olduğu varsayılmaktadır. Bu olasılıklar içerisinde geriye harekete de eşit olanak tanınmaktadır. Kullanıcılar çoğunlukla bir kaçış rotası tayin ettiklerinden, birinci yaklaşım fazlaca gerçekçi olmamaktadır. Böylece, yazar ikinci yaklaşımda rotanın belirli olduğu varsayımını yapmakta, kişinin geriye dönme hareketini sınırlamaktadır. Bu modelde, geri düğüm noktasına hareketin olasılık yüzdesi, öngörülen bir katsayı yardımı ile düşürülmektedir. Bina kullanıcısının uzun süreli olması durumunda, daha önce yürümüş olduğu rotayı hatırladığı kabulü ile, yazar üçüncü ve dördüncü yaklaşımlarını önermektedir. Üçüncü modelde (Memorized Random Choice), kullanıcının belli bir rotayı kaç defa kat etmiş olduğu varsayılmakta, ve en az kat edilen rotaların seçilme olasılığı yüksek tutulmaktadır. Dördüncü modelde (Planned Paths), kullanıcının boşaltım tatbikatlarından kaçış rotasını ezberlediği varsayılmaktadır. Düğüm noktalarına gelindiğinde yanlış rotaya sapma ihtimali bir sabit ile değerlendirilmektedir. Beşinci model (Directional Choice), kullanıcının çıkış yönü hissinin etkisini içermektedir. Burada kullanıcının hareket edeceği rotanın

vektörü ile bulunduğu nokta ve çıkış kapısı arasındaki vektör hesaplanmakta, arasındaki açıya bağlı olarak bir olasılık fonksiyonu önerilmektedir. Yazar diğer modellerini genellikle insanların tercihi olduğu bilinen, en kısa rotanın seçilmesi üzerine kurgulamaktadır. En kısa rota bir sonraki düğüm noktasına varmak için en kısa mesafe (Local Distance) ya da son çıkışa varmak için en kısa mesafe (Global Distance) olarak değerlendirilmektedir. Her iki kriter için, olasılık sabitleri Dijkstra algoritmasına dayalı formüllerle ifade edilmektedir. Altıncı ve yedinci modeller lokal en kısa rota (Shortest Local Path; Modified Shortest Local Path), sekizinci model ise, en kısa global rota (Shortest Global Path) esasına göre oluşturulmaktadır. Dokuzuncu ve son modelde, yazar insanların en kısa rotayı bilmeleri yerine, sıklıkla kullanılan rotalar hakkında daha fazla bilgi sahibi olduklarını varsayarak hareket doğrultusu olasılığını hesaplamaktadır (Frequently Used Path). Makalede geniş, düz ve diğer ucu görülebilen koridorların, uzun, kıvrımlı ve dar koridorlara tercih edildikleri belirtilmektedir. Sıklıkla kullanılan rotaların genellikle geniş koridorlu bağlantıların, rahatça görülebilen geniş merdiven kovalarına birleştiği, işaretlenmiş rotalar oldukları vurgulanmaktadır. Sıklıkla kullanılan rota, bir düğüm noktasını komşu düğüm noktasına bağlayan rota seçeneklerinin tercih edilme frekanslarına göre belirlenmektedir. Matematiksel algoritma her bir düğüm noktasından diğerine yürünmesi halinde kat edilen ortalama mesafe vektörü, 'd', olasılık matrisi, '(I-II)', ve her düğüm noktasında kat edilmesi muhtemel mesafe toplamı vektöründen, 'c', çözümlenmektedir (Bkz. Denklem (2.28)).

$$(I - \Pi) d = c \quad (2.28)$$

Boşaltım süresi sabit bir yürüme hızı olan 1.5m/s alınmak suretiyle, hesaplanan ortalama kat edilen mesafeden elde edilmektedir. Dördüncü modelde hatırlanan doğru rotadan ayrılma olasılığının artması ile boşaltım süresinin uzaması sunulmaktadır. Sapma olasılığının %20'den %40'a çıkarılması halinde, önemli gecikmeler yaşanacağı saptanmaktadır. Benzer analizler, geriye dönme hareketinin kısıtlandığı ikinci ve üçüncü modellerin, en basit birinci modelle kıyaslanması amacıyla sunulmuştur. Burada da, geriye dönme hareketinin sınırlandırılması ile, boşaltım süresinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

Graat et. al. [1999], boşaltım süresinin üç ayrı süreyi; uyarılmayı, değerlendirmeyi ve boşaltımı içerdiğini, ancak yangın yönetmeliklerinde sadece son evreye ait birtakım kuralların bulunduğunu söylemektedirler. Makalede, yönetmeliklerce bu ampirik bağıntılarda kullanılması önerilen birtakım değişken değerlerinin gerçek durumla ne derece bağdaştığı, gerçekleştirilen stadyum boşaltım tatbikatlarına bağlı olarak sorgulanmaktadır. Boşaltım sürelerinin kişilerin acil durum motivasyonlarıyla ve merdiven eğim açısıyla ne düzeyde farklılaşabileceği konusuna odaklanılmaktadır. Yazarlar, çoğu yangın güvenlik yönetmeliğinde önerilen bağıntıları özetlemekte (Denklem (2.29)-(2.31)), insan yürüme hızı 'v', insan yoğunluğu 'p' ve kapasite arasında Denklem (2.29)'da ifade edildiği kadar basit bir ilişkinin olmadığını ifade etmektedirler. Yoğunluk arttıkça, insan yürüme hızının kişisel hızlardan uzaklaşarak, kitlesel düşük hızlara erişeceği, kapasitenin de belli bir yoğunluk değerine kadar artış göstereceğini, ancak daha sonra hızın düşmesi ile tekrar azalma göstereceği vurgulanmaktadır. Bu durumda kapasite hesabında birbiri ile ilintili hız ve yoğunluk değerlerinin kullanılması gerektiği rapor edilmektedir. Örneğin merdiven kovalarında yapılan ölçümlerde, yoğunluk düzeylerinin en fazla 4.5-5.5 kişi/m² olduğu ve hareket hızlarının ise en fazla 0.7-1.2 m/s olarak belirlenmesine rağmen, kapasitenin en fazla 0.8-1.5 kişi/m.s seviyelerinde değiştiği bildirilmektedir. Denklem (2.30)'da ifade edilen debi, yani birim zamanda belli bir genişlikten geçen kişi sayısı, kapasitenin ve efektif boşluk genişliğinin 'w_{eff}' bir fonksiyonudur. Makale gerçek genişliğin her iki kenarından duvarlarla sınırlanması halinde 15cm, tırabzan olması halinde de, 9cm daraltılması gerektiğini savunmaktadır. Boşluktan geçme süresi 't', bu durumda, n sayıda kullanıcı için, Denklem (2.31)'den hesaplanmaktadır.

$$\text{kapasite} = v \rho \left(\frac{\text{kişi}}{\text{ms}} \right) \quad (2.29)$$

$$\text{debi} = \text{kapasite} w_{\text{eff}} \left(\frac{\text{kişi}}{\text{s}} \right) \quad (2.30)$$

$$t = \frac{n}{\text{debi}} \quad (\text{s}) \quad (2.31)$$

Makale, çoğu yönetmelikte düzlükte ve eğimde önerilen 1.88 ve 1.28 kişi/m.s kapasite değerlerinin gerçekçiliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca günümüze

kadar yapılmış kapasite bulguları özetlenmekte, ve bu değerlerin birbirinden oldukça farklı oldukları işaret edilmektedir. Kültürel davranış farklılıklarının, yani kişilerin birbirlerine ne kadar yakınlıkta durabildiklerinin, bu değerleri önemli oranda etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, kişilerin vücut zarflarının alanı (body ellipse), hareket etme alanı (pacing zone), ve hareket esnasında önüne çıkabilecek engellere reaksiyon gösterebileceği alan (sensory zone) kavramları – trafikte, kalabalık yolda, kuyrukta Türk kültüründe sizce ‘sensory zone’ kavramı var mı? Sanırım sadece ‘pacing zone’ kavramı geçerli gibi...- ve kişilerin çıkışa ulaşmada kararlılıkları (motivasyon) kapasiteyi ve dolayısı ile boşaltım sürelerini etkileyeceği hipotezi yapılmaktadır. Makalenin son bölümünde, Hollanda’nın Eindhoven şehrindeki Philips Stadyumunda ölçülen yürüme hızı, yoğunluğu ve kapasite değerleri video kayıtları ile belirlenmektedir. Ölçümlerin kaydedildiği bölüm, merdiven basamaklarının son birkaç basamağını içeren 2m genişliğinde 3m uzunluğundaki bir şeridi içermektedir. Basamak eğimi ise 30 ile 36° arasında değişmektedir. Altı futbol maçı sonunda ölçülen yoğunluk, debi ve kapasite değerleri ölçülmüş ve kapasite lineer regresyon denklemi kurularak elde edilmiştir (Denklem (2.32)). Denklem (2.32)’de, kapasite değeri ‘ $Y=\beta.x$ ’ formundaki regresyon bağıntısının β katsayısına bakılarak elde edilmektedir.

$$\frac{n}{w_{eff}} = \text{kapasite} \times \left(\frac{\text{kişi}}{m} \right) \quad (2.32)$$

Belirlenen kapasite değerleri, 0.5 ile 0.93 kişi/m.s olarak rapor edilmektedir. Bu farklılaşmanın sebebinin motivasyon olabileceği hipotezi ile, ikinci bir deneysel çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmada, bir kısım tatbikatlar acil durum anonsu yaptırılarak uygulanmıştır. En düşük kapasite, yüksek motivasyon durumunda 1.14 kişi/m.s, normal şartlarda ise, 1.09 kişi/m.s olarak tespit edilmektedir. Merdiven eğiminin arttırılması halinde ise, bu değerler sırasıyla, 1.0 ve 1.10 kişi/m.s bulunmaktadır. Merdiven eğiminin artışı kapasite değerini düşürse de, yüksek yoğunluklarda bu farkın asgari düzeylerde olduğu ayrıca belirtilmektedir. Sonuç olarak, yönetmeliklerde önerilen kapasite değerlerinin gereğinden yüksek oldukları belirlenmektedir. Yazarlar farklı kültürlerde kapasite değerlerinin önemli farklılıklar gösterebileceğini ve benzer sistematikte benzer koşullarda, aynı çalışmanın farklı ülkeler için yürütülmesini teşvik etmektedirler.

Fraser-Mitchell, [1999], BRE (British Research Establishment) tarafından geliştirilen, Monte-Carlo simülasyonu ile bina yangınlarında kullanıcıların modellenmesini stokastik yöntemlerle analiz edebilen ‘CRISP’ yazılımını değerlendirmektedir. Program diğer yazılımlardan farklı olarak, yangının olumsuz çevre koşullarını, -sıcaklık, duman ve zehirli gaz- analiz esnasında hesaplayabilmekte ve kullanıcılarla etkileşimini otomatik olarak değerlendirebilmektedir. Diğer benzeri yazılımlar, bu koşulları genellikle girdi olarak kabul edebilmektedir. Mekan içerisinde duman ve yangının yayılması iki tabakalı bir termodinamik algoritma ile belli zaman aralıkları belirlenmektedir. İki tabakalı olarak öngörülen duman tabaka katman kalınlığının odanın tabanına yaklaşması ile mekan çevresel koşullarının SFPE (Society of Fire Protection Engineering) önerilen yaşam imkanını kısıtlama şartlarına göre 0 ile 5 arasında bir değerle belirtilmektedir. Programda kişilerin tekil olarak değerlendirilebildiği ve çevresel koşulları algılayarak en uygun kaçış rotasını belirleyebildikleri vurgulanmaktadır. Program içinde kullanıcı hareketleri beş ayrı modül dahilinde belirlenmektedir: Bilgi toplama, Karar verme, Kaçış öncesi yapılan hareketler, Rota planlaması, Binayı terk etme. Bilgi toplama aşamasında, mekan içinde yaşam kısıtlama değerlerine göre -1 uyanık ve 2 uykuda - uyarıldıkları ve bina içindeki herkes ve her mekanın çevresel koşulları hakkında tam bilgiye sahip oldukları varsayılmaktadır. Uyarılan kişiler diğer kişileri de uyarmak suretiyle, herkesin uyarılması bu aşamada gerçekleştirilmektedir. Karar verme aşamasında, yapılması gereken kaçış öncesi işlerin sahipleri üç kategoride ele alınmaktadır; kullanıcı, ziyaretçi, özel yangın görevlisi. Her tip için yapılması gereken hareketler gerçek yangın olaylarından belirlenmektedir. Koşullara göre bu hareketlerin değişmesi söz konusu olabildiğinden farklı kombinasyonlar ayrıca göz önüne alınmaktadır. Tercih sırasına göre hangi kombinasyonun oluşabilmesi için şartların uygun olduğu program tarafından saptanır, geçen süre bu aşamada kaybedilmiş olur. Tipik bir süreç, Bekleme-Uyarılma-Cam kapama-Kaçma-Çıkışa ulaşma olarak verilebilir. Her bir aşamadan diğerine geçiş için uygun koşullar bulunmuyorsa, sıradaki diğer kombinasyon ele alınır. Mesela camı kapama için gerekli koşullar uygun değilse, seçenekler arasında varsa, Bekleme-Uyarılma-Kaçma-Çıkışa ulaşma kombinasyonu değerlendirilir, bu arada kişi hala hareketsiz kalır. Kaçış öncesi yapılan hareketler, yangınla mücadeleyi, başkalarını uyarmayı, giyinmeyi, cam ya da kapı kapatmayı, başkalarını kurtarmayı içerebilir. Bu aktiviteler ancak aktivitenin yer alacağı mekan içinde yaşam kısıtlama değerleri belli

seviyeler dahilinde ise gerçekleştirilmektedir. Bu aktivitelerde kaybedilen zaman her kullanıcıya bu modül dahilinde yansıtılmaktadır. Kaçış rotasının planlanması aşamasında kullanıcının bulunduğu konumla çıkış konumu arasında en kısa yolu veren rota, bu rotada kat edilen mekanların yaşam kısıtlama değerleri en düşük olanları göz önüne alınarak belirlenmektedir. Binayı terk etme hareketleri, daha önce belirlenen rota kapsamında, her mekan içindeki engelleri de göz önünde bulunduracak biçimde, düzenlenmektedir. Hareket rota dahilindeki bir mekandan diğerine kademeli olarak uygulanmaktadır. Engeller, mekanın 0.5 ya da 1m²'lik piksellere bölünmesi ile değerlendirilmekte, kullanıcı çıkışa en kısa yoldan, bu pikselleri kullanarak ve engellerin etrafından dolaşarak, yönlendirilmektedir. Piksellerin başka kullanıcılarca işgal edilmesi halinde, Monte-Carlo operasyonu oldukça kompleks bir hal aldığı makalede belirtilmektedir. Yazar, piksel boyutunun oldukça önemli bir karar olduğunu ve simülasyonun gerçekçiliğinin can damarı olduğunu vurgulamaktadır. Piksel alanı gereğinden büyük olursa (>1m²) kapıların tam boyutlarında ifade edilemeyeceği, piksellerin gereğinden küçük olması durumunda da (<0.25m²) kapılarda akış debisinin gerçekçi olmayacak kadar yüksek çıkacağı belirtilmektedir. Programda insan hareket hızları yoğunluğa göre en fazla 1.2m/s kabul edilmekte ve kapılarda geçiş kapasitesinin 1.4 insan/m. s. olduğu varsayılmaktadır. Yazar yangın ölüm riskinin, simülasyon sonucu belirlenecek ölüm olaylarının toplam kullanıcı sayısına oranlanarak hesaplanabileceğini ifade etmektedir. Makalede ayrıca, kullanıcı sayısının 49-68 arasında değiştiği iki katlı bir ofis binasının boşaltım tatbikatı, 'CRISP' tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Analizlerin 500 kere tekrar edilerek tahmin edildiği boşaltım süresi, hareket öncesi gecikme yokken 30 ile 40s arasında değişmekte (RSET), gecikmenin ele alındığı durumda ise, 75 ile 90s seviyelerine kadar artmaktadır. Tatbikatta ölçülen 75s'lik süre, hareket öncesi gecikmenin ele alındığı model bulgularıyla örtüşmektedir. Sonuçlar, 'CRISP' yazılım algoritmasında büyük ağırlık verilen, boşaltım öncesi (pre-movement) modellemesinin, gerçekçi bir simülasyon için ne denli önemli olduğunu ispatlamaktadır.

Notake et. al. [2001], binaların karmaşık plan geometrilerine sahip olması ile, yangın güvenlik kriterlerinin değerlendirilmesinin zorlaştığını, ve binanın boşaltım güvenliğinin araştırılmasında performansa dayalı, bilimsel tabanlı mühendislik yaklaşımlarına başvurulması gerektiğini ifade etmektedirler. Boşaltım sürecinin dört

farklı evreden oluştuğu; -boşaltım öncesi aktiviteler (pre-movement), boşaltım hareketi, yol bulma, binayı terk etme- bildirilmektedir. Makale yol bulma algoritması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yol bulma genellikle binanın plan karakteristiği ile ilgili olmaktadır; örneğin, mekanların yerleşim biçimi, birbirleri ile bağlantıları, koridor, kapı ve merdiven kovalarının konumu, çıkış kapısı sayısı ve kaçış uzaklığı, çıkışa yönelmede kaybedilen zamanı etkileyen faktörler arasında gösterilmektedir. Bina, mekan kapıları, kavşak noktaları ve merdiven kovaları düğüm noktaları kullanılarak, koridor ve diğer bağlantılar ise linkler kullanılarak, bir ağ modeli ile temsil edilmektedir. Modelde her düğüm noktasına ulaşıldığında, geriye dönüş rotası dahil, tüm rota seçeneklerinin eşit tercih edilme olasılığına sahip olduğu kabul edilmektedir. Seçilen bir rotanın diğerine göre kullanılabilirliği Yoshimura indeksine, [1987, 1989], ya da Donegan indeksine, [2002], göre kararlaştırılmaktadır. Yoshimura indeksi 1.0, Donegan indeksi ise 0.0 değerine yaklaştıkça ilgili rotanın tercih edilme olasılığı artmaktadır. Yazarlar göstermektedir ki, link ya da düğüm noktası sayısı arttıkça, indeks ideal değerlerden uzaklaşmaktadır. Bu bulgu, kaçış uzaklığının bina yangın güvenliğinde önemli bir kriter olarak değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir. Matematiksel modelde önerilen ağ modelini kullanarak, belli bir forma sahip olan ağ rota seçeneklerinin, hangi olasılıkla ne kadar mesafe kat ettirerek kullanıcıları bina dışına ulaştıracağı hesap edilebilmekte ve olasılık dağılımı kaçış uzaklığına göre ilişkilendirilebilmektedir. Makalede seyahat mesafeleri, ağ formunun çıkış sayısına ve çıkışların bir noktada kümelenmesi ya da bina planı çevresince dağıtılmasına göre irdelenmektedir. Beklendiği üzere, toplam kat edilen mesafenin çıkış kapısı sayısına oranı arttıkça, kaçış uzaklığı da artmaktadır. Yazarlar iki değişken arasında sabit eğimli bir lineer regresyon ilişkisi olduğunu belirlemektedir. Plana dağıtılmış çıkışların, kısıtlı bir alana yoğunlaşan çıkışlara göre kaçış uzaklığını düşürmede daha etkili oldukları bulunmaktadır. Yazarlar ayrıca, geriye dönüş hareket olasılığının düşürülmesi halinde kat edilen seyahat mesafelerini, ağ sisteminin iç döngü içermesi ya da içermemesi durumuna göre araştırmaktadır. Özellikle döngüsel olmayan ağ sistemlerinde (without loop structure), geriye dönüş hareketinin kısıtlanması halinde kaçış uzaklığında daha önemli düşüşler sağlanabileceği gösterilmektedir.

Gwynne et. al., [1999], halihazırda kullanıma açık, kabul görmüş, gelişmiş simülasyon modellerinin özelliklerini tartışmaktadır. *Optimizasyon* modelleri olarak

nitelendirilen ‘EVACNET’ ve ‘TAKAHASHI’S MODEL’ boşaltım sürecini, bina kullanıcılarının kitlesel bir akışkan gibi davrandığını kabul ederek modellendiği rapor edilmektedir. Kişisel davranışların her iki modelde de ele alınmadığı belirtilmektedir. Yazarlar, *Simülasyon* modellerinde, hem kişisel davranışların hem de hareket biçimlerinin gerçek durumlarda karşılaşılan gözlem ve bulgulara dayandırıldığını ifade etmektedirler. Bu kategori dahilinde değerlendirilen yazılımlar, ‘BGRAF’, ‘DONEGAN’S ENTROPY MODEL’, ‘EXITT’, ‘EGRESS’, ‘E-SCAPE’, ‘EXIT89’, ‘buildingEXODUS’, ‘MAGNETMODEL’ ‘SIMULEX’, ‘VEGAS’ ve ‘PAXPORT’ olarak sayılmaktadır. Ancak bu modellerde kullanılan kullanıcı davranış algoritmalarının ve sonuç hassasiyetinin büyük değişiklikler gösterebildiği vurgulanmaktadır. *Simülasyon* modelleri içinde sadece ‘BGRAF’, ‘buildingEXODUS’, ‘MAGNETMODEL’ ‘SIMULEX’ ve ‘EGRESS’, mekan içindeki kullanıcı hareketlerini modelleyebilen, ağ bölüntüsü içermektedir. Diğerleri için bina geometrisi duvarlarla bölünmüş mekanların birleşmesinden oluşmakta ve mekan içi hareketler (mobilya etrafından dolaşma, engel aşma, karşılıklı çarpışma, kaçış öncesi hareketler) gözlemlenememektedir. Kimi model mekan içi hareketleri modelleyemese de, kişisel kullanıcı bilgilerini değerlendirebildiği bildirilmektedir. Bu modellerin içinde yer alanlar ‘EXITT’ ve ‘E-SCAPE’ olarak açıklanmaktadır. Hareket denklemlerinin akışkanlar mekaniği ve ya manyetik alan denklemlerine dayandırıldığı modeller, (*Functional Anology*); ‘TAKAHASHI’S MODEL’ ve ‘MAGNETMODEL’, kimi hareket denkleminin ise davranış kurallarını değerlendirdiği belirtilse de, bu kuralların kompleks matematiksel ifadelerle dayandırıldığı (*Implicit Behaviour*) ifade edilmektedir (‘EXIT89’, ‘PAXPORT’, ‘SIMULEX’). Hareket karar mekanizmalarının en gerçekçi biçimde modellenmesi, davranış psikolojisi bulgularının direkt olarak uygulanması ile mümkün olabileceği vurgulanmaktadır (*Rule Based*). Davranış bulgularını stokastik yöntemlerle değerlendiren bu modellerin içinde ‘BGRAF’, ‘EXITT’, ‘E-SCAPE’, ve ‘buildingEXODUS’ yer almaktadır. Geliştirilme aşamasında olan ve yapay zeka yaklaşımını (*Artificial Intelligence*). kullanan az da olsa üç ayrı yazılımın; ‘DONEGAN’S ENTROPY MODEL’, ‘EGRESS’ ve ‘VEGAS’, mevcut olduğu da bildirilmektedir. Yazarlar, bu modellerin doğrulanması hususunda bilimsel çalışmaların yürütülmesi gereğini özellikle vurgulamaktadırlar.

Ashe and Shields, [1999], SIMULEX boşaltım analizi modelini kullanarak, İngiltere’de Marks&Spencer’a ait tek katlı Sprucefield mağazasını incelemektedir. Yazarlar, kullanılan yazılımın insan hareketlerini gerçek yangın olaylarına, ve araştırma bulgularına dayandırdığı için tercih ettiklerini, yalpalama hareketi, yürüme hızı farklılaşması, birbirini geçme, kuyrukta bekleme, çıkış yolu seçenekleri belirleyebilme ve reaksiyon süresi vb. gibi birçok önemli özelliğin yazılım algoritması dahilinde ele alınabileceğini belirtmektedir. Çalışmada incelenen Marks&Spencer mağazası 9000 m²’lik tek hacim içine yerleşen, mağaza, depo ve bürolardan oluşmakta, yedisi direkt dışarıya yönlendirilen 13 çıkış kapısına sahiptir. Mağazada, 1997 senesinde, 500 müşterinin bulunduğu bir zamanda, habersiz olarak yapılan bir boşaltım tatbikatı kayda alınarak boşaltım süreci öncesi süreler ve toplam boşaltım süresi (video teyp kayıtlarından) ölçülmüştür. Mağazadaki müşteri bilgileri anketlerle belirlenmiş ve reaksiyon süreleri görüntü kayıtlardan ölçülmüştür. Daha sonra bu girdiler ‘SIMULEX’ yazılımının da modellenerek boşaltım süresi tahmin edilmiştir. Tahmin edilen boşaltım süresi 3 dak. 22s. hesaplanmakta, tatbikatta ölçülen süre ise 3dak. 30s. olarak rapor edilmektedir. Yazılımın gerçek duruma yakın sonuçlar vermesiyle, mağaza üzerinde bir seri parametrik çalışma yürütülmüştür. Kullanıcı sayısının hep 616 olarak belirlendiği simülasyonlarda, reaksiyon süresinin değerlendirilmediği, ve kullanıcıların tatbikatta kullandıkları çıkışa yönlendirildikleri modelde boşaltım süresinin, kullanıcıların en yakın çıkışa yönlendirildikleri, ancak reaksiyon süresinin 1s. olarak belirlendiği modele göre 9s. geç gerçekleşmektedir. Yazarlar, bekleme süresinin olmadığı modelde, çıkış kapılarında sıkışma yaşandığını, bekleme süresinin olduğu modelde ise kademeli hareket sebebiyle kapılarda akış debisinin daha yüksek olduğunu belirtmektedirler. Diğer parametrik modellerde, kimi çıkış kapısının devre dışı bırakılması incelenmektedir. Kullanıcıların tatbikatta kullandıkları bazı kapıların devre dışı bırakılmasıyla en yakın diğer kapıya yönlendirildikleri modellerde boşaltım süreleri 32s.’ye ulaşan uzamalar göstermektedir. Şaşırtıcı olarak, tüm kullanıcıların en yakın çıkışa yönlendirildikleri, ve tüm kapıların kullanılabildiği model, tatbikatta kullanılan sınırlı sayıdaki kapılara göre oluşturulan modelden 7s. daha yavaş boşaltım süresi vermektedir. Benzer şekilde, mağaza içindeki stand, ödeme kasaları ve raf engelleri kaldırılarak, tatbikatta kullanılan çıkışlara yönlendirme yapıldığında, tatbikat simülasyonuna nazaran yine 7s.’lik bir gecikme süresi gözlemlenmektedir. Bu beklenmeyen gecikme, müşteri sayısının üç katına çıkarıldığı benzer modeller için de görülmektedir. Yazarlar bunun

sebebinin, 'SIMULEX' ve benzeri yazılımlarda var olan ve mesafeye kıyasla en yakın kapıya yönlendirme yapan algoritmanın, kapıda bekleyen kişi sayısını değerlendirememesinden kaynaklandığını iddia etmektedir. Açıktır ki, en yakın kapı olarak yönlendirilen kullanıcılar, ilgili kapıda bekleyenler fazla ise, yoğunluğu daha az olan en yakın diğer bir kapıya yönlendirilememektedirler, bu da boşaltım süresinin mantığa uymayan sonuçlar vermesine yol açmaktadır. Kullanıcı sayısının, kıyaslanabilir modeller için, üç katına çıkarılmasıyla boşaltım süresi yaklaşık olarak 2 kat artmaktadır. Yazarlar yazılım algoritmasının, en yakın çıkışa yönlendirmede, çıkış kapısı yoğunluklarını değerlendirebilecek biçimde düzenlenmesini ve kullanıcılara atanan bilgi ve özelliklerin analiz esnasında sabit kalmayarak, değişken olabilmesini önermektedir.

Horasan, [1999], 10000 kişiyi barındırabilen, 30240m² tek hacimli kapalı alana sahip fuar alanının boşaltım problemlerini rapor etmektedir. Dört acil çıkış kapısı bulunan sergileme mekanında fuar standları yerleştiğinde, yangın yönetmeliklerince uygun olan acil çıkış yönlendirme işaretlerinin bina ziyaretçilerinin %60'ına görülemediği, hatta bina sınırlarının dahi algılanamadığı yazarın üç ayrı fuar esnasında yürüttüğü görüşmelerden tespit edilmiştir. Bu örnekle, performansa dayalı yangın güvenliğinin, deterministik yangın güvenlik yönetmeliklerine daha üstün olduğu görüşü kuvvetlenmektedir. İlginç bir tespit olarak yazar, çoğu ziyaretçinin konumunu belirlemek için çatı makaslarının yönüne baktıklarını belirtmektedir. Ancak yangın halinde dumanın bu elemanları gizlemesi ile ziyaretçilerin tamamen yön hislerini kaybedecekleri ifade edilmektedir. 'EVACNET+' boşaltım yazılımı kullanılarak 7300 kullanıcı ile uygulanan simülasyonda, 830s toplam boşaltım süresi tahmin edilmektedir. Analizde boşaltım öncesi hareketler nedeniyle kaybedilen süre, Avustralya Yangın Mühendisliği Kılavuzunda önerilen, 170s olarak kullanılmıştır. Dumanın tavandan tehlikeli düzeylere çökmesi için gerekli sürenin, çok hızlı ve hızlı bir yangında sırasıyla 480 ile 570s arasında olacağı hesaplanmaktadır. Bina kullanıcılarını çıkış kapılarına daha hızlı yönlendirebilecek bir işaretleme yönteminin binaya en az müdahale ederek yapılabilirliği makalede araştırılmaktadır. Yazar işaretlemenin sadece duvarlara değil zemin düzleminde de yapılabileceğini vurgulamaktadır. Çıkış kapılarının işaretlemeleri raylar üzerinde kayar, hareketli ve 45m mesafeden görülebilecek boyutlarda (30x90cm), duvara yerleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, bina sınırları etrafında dolaşan 3m genişliğinde bir koridor

şerittin oluşturulması ve standlar arasında gezi yollarına serilecek halılarda bu şeride yönlendirme yapacak kaymayan fosforlu (0.7m^{-1} duman optik yoğunluğuna kadar etkili) yönlendirme paspasları düşünülmektedir. Böylece raylar üzerinde kayan acil çıkış kapış işaretlemelerinin bu şeritlere ulaştıktan sonra daha kolay fark edilmeleri sağlanmaktadır. Uygulanan bu iyileştirmelerin diğer fuarlarda ziyaretçilerin dikkatini çektiği, ve binayı algılamada özellikle taban işaretlemelerini kullandıkları ifade edilmektedir. Yazar, mimari planın basit, net ve kolay anlaşılır olmasının boşaltım süresini azaltmada çok etkili olduğunu, karmaşık planlarda sıkça rastlanan farklı rota alternatiflerinin ise, karışıklık ve boşaltım süresi gecikmelerine yol açtığını uyarılmaktadır.

MacLennan et. al., [1999], mevcut yangın yönetmeliklerinin boşaltım öncesi hareketlere ilişkin kriter ve bulgularla donatılmadığının altını çizmektedirler. Ancak bu konudaki bilimsel bulguların çok az olduğunu da belirtmektedirler. Yönetmeliklerde hesap edilen boşaltım süresi (RSET, Required Safe Egress Time), kullanıcıların alarm verilmesiyle derhal harekete geçtiği varsayılarak belirlenmektedir. Makale, boşaltım sürecinin tahmini en güç ve en önemli zaman kayıplarının boşaltım öncesi olduğu ve bu evrenin bilimsel bir metodoloji ile bilimsel bulgulara dayandırılarak incelenmesi gerektiğini tartışmaktadır. Yazarlar, 'SIMULEX' ve 'WAYOUT' gibi gelişmiş boşaltım yazılımların girdisi olarak kullanılabilecek boşaltım öncesi hareket verilerinin bu çalışmaların ışığında yapılması gerektiğini söylemektedirler. İş sağlığı ve güvenliği çerçevesinde [Ramsey; 1985], kullanıcının tehlikeden kaçınma akış şemaları, boşaltım öncesi hareket davranışına uyarlanmaktadır. Bu şemada, kişinin güvenli bir konuma erişebilmesi süreci dahilinde, sergilediği davranış seçenekleri ve birbirleri ile olan ilişkileri, davranışın gerçekleşme olasılıklarına bağlı olarak sunulmaktadır. Bu süreçte tehlikeye karşı uyarılma, tehlikenin ciddiyeti hakkında bilgi toplama, kaçış öncesi tehlikeyle mücadele, giyinme, cam-kapı kapatma, başkalarına yardım ve uyarı gibi davranış biçimleri, boşaltım hareketlerine başlamadan değerlendirilmektedir. Yazarlar, oldukça kompleks olan bu davranışlar silsilesinin, kişiye özgü farklı idrak mekanizmaları sayesinde, farklı kombinasyonlar ve dolayısı ile farklı süreler içereceğini, Rasmussen et. al., [1994] ait kognitif (algısal) sistem çalışmalarına dayandırarak açıklamaktadırlar. Makalede, Rasmussen et. al ait kognitif karar verme süreci, yangın tehlikesi durumuna uyarlanmaktadır. Sunuda gösterilen sürecin kısa

yollar içerdiği (Heuristic shortcuts) ve tehlikeye maruz bir kişinin bu süreci kısaltma şansının, belirli koşullara bağlı olarak, bulunduğu belirtilmektedir. Bu koşullar, kullanıcının yangın tecrübesi geçirmiş olmasına ve/veya gördüğü yangın eğitimine, açık ve net bir yangın tehlike uyarı ve talimatı almasına ve yangın yatağından uzakta konumlanmasına bağlanmaktadır. Bu bilgilerin ışığında, Rasmussen et. al. ait kognitif düşünce süreci –*uyarılma, gözlem, bilgi toplama, tanı, tehlikeyi algılama, tehlikenin sonuçlarını tahmin, kaçış seçeneklerini değerlendirme, hedefi belirleme, hedefe ulaşmada yapılması gerekenler, kaçış rotası planlaması, ve nihayet boşaltım hareketine geçme*- kısa yolları da değerlendirmek suretiyle, beş ayrı senaryoda ele alınabileceği gösterilmektedir. Tartışmadan anlaşılacağı üzere, yazarlar bu çalışma ile, büyük farklılıklar gösterebilen boşaltım öncesi süreçte kaybedilen sürenin normal olasılık dağılımını belirlemeye çalışmaktadırlar. Daha önce yayımlanmış boşaltım tatbikatlarından ve gerçek yangınlardan elde edilen verilere dayanarak, en uygun dağılım fonksiyonun, yetersiz verilerle çok iyi sonuçlar alındığı bilinen, Weibull fonksiyonu olduğunu ifade etmektedirler. Farklı kaynaklardan, kullanıcı yükü ve fonksiyonu benzer binalar için farklı envanterler oluşturulması, ve her bir dağılımın Weibull fonksiyonu kullanılarak belirlenmesi önerilmektedir. Her bir örneklemden gelen sürelerin boşaltım sürecine ilk başlayan kişinin süresine rölatif olarak belirlenmesi gerektiği, ve yatay zaman eksenine işlenirken, eğrinin orijin noktasının en hızlı boşaltıma başlayan kişinin süresi olması gerektiği, ayrıca vurgulanmaktadır. Bir binaya ait kullanıcıların incelenmesi söz konusu olduğunda, yazarlar, mimari plan karakteristiğini, iş sağlığı ve güvenliği davranış ilişkilerini ve kognitif süreci değerlendirerek süre tahmini yapılmasını, ve yukarıda anlatılan prosedüre uygun olarak elde edilen Weibull fonksiyonunun, gerçek bulgulara dayananlarla karşılaştırılmasını ve uygunluğunun belirlenmesini, çalışmanın metodolojisi olarak önermektedirler. Yazarlar, bu metodolojinin standart bir prosedür haline gelebilmesi için daha fazla bulguya ihtiyaç duyulduğunu, ve anlatılan çerçevede farklı ülkelerde çalışma yürütülebileceğinin ipuçlarını vermektedirler. Ayrıca, kültürel ve yapısal farklılıkların bu süreci çok kompleks hale getirebileceğini, ancak basite indirgenmesi halinde, uyarılma süresinin ve boşaltıma geçmeden yapılan diğer aktivitelerin –bilgi toplama, yardım etme, mücadele etme, karar verme, planlama vs.- ayrı olarak ele alınabileceğini de ifade etmektedirler.

Gwynne et. al., [2001], 'buildingEXODUS' yazılımının en önemli davranış özellikleri olan, kullanıcı çıkış bilgilerinin, duman içine girme ve içinde hareket etme davranışının ve alternatif başka rotaya yönlenmenin boşaltım süreci üzerindeki etkilerini incelemektedir. Doğrulama amacıyla, üç ayrı örnek yazılım kullanılarak modellenmiştir. İlk örnekte Jin'in [1997] deneysel çalışmasında kullandığı dumanla doldurulmuş 20x1.5m ölçülerinde bir koridorda 25 yaşında bir erkek kullanıcının hareketleri modellenmiştir. Dumanının yoğunluğu, ışık tutuculuk katsayısı 0.2 ile 0.5m^{-1} arasında değişecek biçimde düzenlenmiştir. Deneğin duman engeline ulaşınca kadar başlangıç yürüyüş hızı 1.0, 1.3 ve 1.5m/s olacak biçimde, üç ayrı seçenekle ele alınmıştır. Altı ayrı analiz; her bir yürüyüş hızı seçeneğini içerecek şekilde yalpalama hareketi varken ve yokken, uygulanmıştır. Özellikle yüksek duman yoğunluğunda, analitik ve deneysel sonuçlar mükemmel bir uyum göstermese de, yalpalama davranışının modellendiği çalışmalarda gerçek duruma çok daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. İkinci örnekte 100 kullanıcı, 13x25m ölçülerinde, 0.5m genişliğinde 4 ayrı köşeye yerleştirilen çıkışların olduğu bir mekanda, yön değiştirme davranışının ve kullanıcı bilgilerinin etkisi araştırılmaktadır. En çok tercih edilen iki çıkış kapısının önüne üç farklı duman yoğunluğuna (ışık tutuculuk katsayısı 0.5, 0.75 ve 1.0m^{-1}) sahip duman engeli yerleştirilmiştir. Sekiz ayrı senaryo ile kullanıcı cinsiyetinin sadece kadın ya da sadece erkekten oluştuğu, tüm kullanıcıların bütün kapıları bildikleri ve en yakın çıkışa yönlenecekleri ya da kullanıcıların %50 ihtimalle belli bir çıkışı bildikleri kabul edilmektedir. Ayrıca dumanla engellenmiş kapıdan çıkmak isteyenlerin duman içine girme oranlarının belirlenmesinde yazılımda kullanılan iki ayrı seçeneğin (ABD ya da İngiltere yüzdeleri) etkisi boşaltım sürecinde değerlendirilmiştir. Zehirlenmenin dikkate alınmaması halinde, sadece tek çıkışın bilindiği senaryo ile yön değiştirmenin olduğu ve alternatif çıkışların bilindiği senaryonun boşaltım süreleri arasında önemli farkların bulunmadığı belirlenmektedir. Buna karşılık, ilk senaryoda kapıda yığılma olduğu belirtilmektedir. ABD ve İngiliz kullanıcı duman içine girme yüzdeleri boşaltım sürelerini büyük ölçüde etkileyebileceği anlaşılmaktadır. Yazarlar, İngiliz bulguları kullanıldığında düşük duman yoğunluklarında daha fazla yön değiştirme gözlemleneceğini, ABD bulguları kullanıldığında ise, yüksek duman yoğunluklarında yön değiştirme hareketi olacağını rapor etmektedirler. Analizler ayrıntılı modelleme bilgilerinin kullanılması halinde kompleks davranışların kolaylıkla modellenebileceğini göstermektedir. Son örnekte dört çıkışı olan bir

binada bulunan 150 kadın ve 150 erkeğin boşaltım simülasyonu yangının olumsuz çevre koşulları da değerlendirilerek incelenmiştir. Binanın ana çıkışının 2m genişliğinde, diğer üç acil çıkışının da 1m genişlikte olacak şekilde düzenlendiği bildirilmektedir. Acil çıkışların ana çıkışlara göre kullanıcılar tarafından daha az bilindiği düşünülmekte, kullanıcıların boşaltıma tepki sürelerinin de 90 ile 180s arasında değiştiği kabul edilmektedir. Yangın çevresel koşullarının en çok bilinen ve tercih edilen ana çıkış kapısının önünde olduğu ve yangın süresince sabit olduğu vurgulanmaktadır. Analizlerde yön değiştirme kabiliyeti varken ve yokken boşaltım süreci incelenmiştir. Yön değiştirme olanağı tanındığında hiçbir kullanıcının duman içine girerek ana çıkışı kullanmadığı görülmektedir. Şaşırtıcı olarak, kullanıcılar binanın en uzak köşesinde en az bilindiği varsayılan bir çıkış kapısına yönelmektedirler. Yazarlar bu durumu kapının doğal olarak izlenen bir yolun sonunda olmasına bağlamaktadırlar. Yazılımın böylesine bir seçeneği değerlendirmiş olması ilgi çekici bir bulgu olarak ortaya çıkmaktadır. Yön değiştirme hareketine izin verilmeyen koşullarda, çoğu kullanıcının duman içinde hareket etmeye çalışırken ortam koşullarına yenik düştükleri rapor edilmektedir. İlk senaryoda can kaybı 162 kişi iken, ikinci senaryoda ölüm sayısının 204 kişiye yükseleceği tahmin edilmektedir.

Olsson and Regan, [2001], performans tabanlı yangın güvenliği tasarımında en önemli unsurun, kullanıcıların can güvenliğinin yangın süresince korunabilmesi olduğunun altını çizmektedir. Bu koşulun sağlanması için, kullanıcıların, binadaki çevresel koşulların yaşam fonksiyonlarını engellemesinden önce, tahliye edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Boşaltım sürecinin; boşaltım öncesi aktiviteler (pre-movement) ve boşaltım hareketi (egress) olmak üzere iki ayrı kısımdan oluştuğunu, ancak geleneksel boşaltım modellerinde sadece boşaltım hareketinin (egress) irdelenebildiği bildirilmektedir. Yazarlar, yakın gelecekte performansa dayalı yangın güvenlik tasarımında, bu unsurları değerlendirebilecek iki temel aracın SIMULEX ve buildingEXODUS yazılımları olabileceğini rapor etmektedir. Makalede sunulan çalışma, SIMULEX yazılımının uygulanma etkinliğini araştırmasının yanı sıra, boşaltım öncesi aktivitelerde harcanan zaman kayıplarını da incelemektedir. Boşaltım süresini karşılaştırmak amacıyla, Yeni Zelanda'da Canterbury Üniversitesine ait, üç ana anfi dersliğin yer aldığı tek katlı bir bina, 8 katlı, derslik, seminer odaları, bilgisayar laboratuvarları, görüşme odaları ve ofisleri barındıran bir

döner sermaye binası ve 5 katlı, derslik, kütüphane, görüşme odaları ve ofislerden oluşan hukuk fakültesi binası kullanılmaktadır. Araştırılan bu binaların performans tabanlı yangın güvenlik yönetmeliklerine uygun olarak inşa edildiği, tümünde acil çıkış işaretleme ve ışıklandırmaların olduğu ve siren tipi alarmı olan tek katlı binanın dışında, diğer iki binada da, anonslu boşaltım uyarı sisteminin bulunduğu bildirilmektedir. Boşaltım tatbikatları, kullanıcılar tarafından fark edilmeyecek ve boşaltıma katılan kişilerin hareketlerini engellemeyecek biçimde yerleştirilen iki video kamera yardımıyla kaydedilmiştir. Tatbikatlar 10 ile 14 saatleri arasında düzenlenmiş, böylece mümkün mertebe fazla kullanıcının katılımı sağlanmıştır. İncelenen binalarda, anlatılış sırasıyla, 278, 716 ve 494 kişinin bulunduğu bildirilmektedir. Ölçülen boşaltım öncesi kaybedilen süreler; tek katlı binanın anfi dersliklerinde, 28 ve 38s, 8 katlı döner sermaye binasının bilgisayar laboratuvarında ve dersliklerinde sırasıyla, 19 ve 24s, 5 katlı hukuk binasının bilgisayar laboratuvarı ve kütüphanesinde ise, sırasıyla 20 ve 27s olarak tespit edilmektedir. Anonslu boşaltım uyarı sistemi olan binalarda, kaybedilen boşaltım öncesi süresinin önemli oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Mekanın fonksiyonuna göre de değiştiği tespit edilen bu sürenin, en uzun değere kütüphanede ulaştığı ayrıca görülmektedir. Toplam boşaltım süresi, bahsi geçen binalarda, anlatılış sırasıyla, 90, 220 ve 170s ölçülmektedir. SIMULEX analizlerinde bina planı 0.2x0.2m modüllere bölünmek suretiyle incelenmektedir. Kullanıcıların %40'ının erkek, %30'unun kadın ve geri kalan %30'unun da ortalama ofis çalışan vücut özellikleri taşıdığı varsayılarak modelleme yapılmıştır. Yürüme hızları, yazılımda bu vücut tipleri için öngörülen hızlardır. Çıkışa yönlendirme, kullanıcılara en yakın çıkıştan, en kısa mesafeyi takip edecek biçimde düzenlenmiştir. Simülasyonlarda, boşaltım öncesi kaybedilen süreler, hem ölçülen değerlerin ortalaması, hem de NFPA yangın can güvenliği kurallarında yer alan standart değerler alınarak hesaplanmıştır. Analizlerde kullanıcı yükü, ölçülen ve yangın yönetmeliklerinde izin verilen üst sınır olmak üzere, iki farklı seçenek için uygulanmıştır. Tek katlı bina ve 5 katlı hukuk fakültesi için hesaplanan boşaltım süreleri ölçülenlerden sırasıyla, 41 ve 18s fazla, 8 katlı döner sermaye binasında ise, 18s az bulunmaktadır. Maksimum kullanıcı sayısı kullanılarak uygulanan analizlerde her üç bina için boşaltım süreleri 1 ile 100s arası uzamaktadır. NFPA'da önerilen standart boşaltım öncesi kaybedilen süreler değerlendirildiğinde ise, tahmin edilen boşaltım sürelerinin 159 ile 363s arasında büyük artışlar gösterdiği

belirtilmektedir. Yazarlar, önerilen standart boşaltım öncesi sürelerinin abartılı değerler olduğunu savunmaktadır.

Chow and Lui, [2002], Karaoke gece kulüplerinde yönetmeliklerce aranan yeni iki yangın güvenlik şartının boşaltım süresine getirdiği katkıyı incelemek maksadıyla 'buildingEXODUS' yazılımını kullanmaktadır. Yangın yönetmeliğince aranan iki kriterin, koridor genişliğinin 1.05m genişlikten 1.2m genişliğe arttırılması ve ölü koridorların tamamen kaldırılması olarak rapor edilmektedir. Çalışmada tipik bir karaoke gece kulübü plan şeması üzerinde, yönetmelikte müsaade edilen m²'ye düşen kullanıcı sayısı belirlenmiş, -214 kişi ve izin verilen sayının üç katı olan yoğun kullanımda 642 kişi- tüm kişilerin 25 yaşında 80kg ağırlığında erkek oldukları ve derhal reaksiyon göstererek binayı boşaltacakları kabul edilerek analizler yürütülmüştür. Dört farklı tip koridor genişliğinin (0.5, 1.0, 1.5 ve 2m) etkisi yangın koşulları yaratılmadan boşaltım süresi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Her bir analiz üç defa tekrar edilmek suretiyle boşaltım süreleri irdelenmiştir. Mevcut planda çıkış konumlarının yeri ve sayısı değiştirilerek 6 ayrı plan kombinasyonu üzerinde çalışılmıştır. Koridor genişliğinin 1m'den 1.5m'ye çıkarılması halinde, tadil edilen plan kombinasyonları için, boşaltım süresi %28-%35 hızlanmaktadır. Ancak binanın gerçek durumu itibariyle, boşaltım süresi %6.5 seviyesinde bir iyileşme gösterebilmektedir. Ölü koridorun bulunduğu plan kombinasyonları hem normal hem de yoğun kullanımda boşaltım süresini değiştirmedeği tespit edilmektedir. Yazarlar, çıkış kapı sayısının da fazlaca etkili olmadığını belirtmekte, bu tür binalarda karaoke oda kapılarının koridor yerine geniş bir fuaye alanına açılmasının ve kullanıcı yoğunluğunun yönetmelikte öngörülen hesaplardan fazla olmamasının faydalı sonuçlar yaratabileceğini vurgulamaktadır.

Öven ve Çakıcı, [2003], Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çayırova Kampüsü'nde yer alan idari birimlerin konumlandığı rektörlük binasını 'buildingEXODUS' yazılımı ile modellenmektedir. Bina, 2 katlı olup, ana bölüm ve iki kenarda yer alan 3 katlı iki kuleden oluşmaktadır. Binada 3 çıkış kapısı bulunmaktadır. Bunlardan genel kullanımlı ana çıkış kapısı her zaman açık bırakılmaktadır. Binada, kaçış levhası ve acil kaçış aydınlatması yer almamakta, sadece siren tipi uyarı sinyalizasyonu kullanılmaktadır. İncelenen kullanıcılar, idari görevli 66 personelden oluşmaktadır. Modellemede kullanılan veriler, binada yapılan

bir boşaltım tatbikatının gözlemlenmesine dayandırılmaktadır. Boşaltım tatbikatı, 29/05/2003 tarihinde, kullanıcıların binada en yoğun olduğu 11:26-11:31 saatleri arasında tatbik edilmiştir. Koridorlara yerleştirilen, zaman ölçümü yapabilen üç sabit ve üç seyyar kamera ile, siren sesinden sonra kişilerin kamerada görünme süreleri ölçülmekte, ve tepki süreleri hesaplanmaktadır. Tatbikat esnasında 28 kişinin boşaltım çağrısına cevap verdiği, kalan 38 kişinin kamera kayıtlarında hiç görünmediği rapor edilmektedir (acil boşaltım sireni dikkate almamaktadır). Bu sebepten dolayı, modelleme senaryolarında sadece 28 kişinin tepki süresi değerlendirilebilmiş, kalan kişiler için tepki süresinin yazılımda kabul edilen en uzun tepki süresi olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada ölçülemeyen diğer psikolojik kriterler için (sabır süresi, atiklik ve hayatta kalma azmi) yazılımda öngörülen standart değerler kullanılmıştır. Kullanıcıların fiziksel özellikleri (yaş, cinsiyet, boy, kilo) ve bildikleri çıkış kapıları yüz yüze görüşme yapılarak elde edilmiştir. Kullanıcıların bina içindeki konumları ve kaçış esnasında engel teşkil eden mobilya tefrişleri yerinde yapılan gözlemlerle belirlenmiş ve geometrik modelde bağlantı hatları kullanılarak modellenmiştir. Modellemede kullanıcıların daimi çalışma mekanlarında masalarının başında bulundukları kabul edilmiştir.

Makalede, 4 ayrı senaryo incelenmektedir:

1. Tatbikat koşullarının modellenmesi (modelin doğrulanması),
2. Acil boşaltım süresinin modellenmesi (deprem koşulları),
3. Yangın koşulları altında boşaltım süresinin modellenmesi,
4. Yangın koşulları ve bloke edilmiş çıkış kapıları ile boşaltım süresi modellenmesi.

Model ve tatbikat arasında mükemmel bir uyum gözlemlenmektedir. Boşaltım süresi 139.53 saniye tahmin edilirken, gerçekte 140 saniye olarak ölçülmektedir. Kişilerin binayı terk etme zamanlaması da, gerçek durumla bire bir kusursuz bir biçimde örtüştüğü bildirilmektedir. Yangından kaynaklanan zararlı çevre faktörlerinin bulunmadığı acil boşaltım süresi 260.03 saniye olarak belirlenmektedir. 60 saniye sürebilecek bir depremde kullanıcılardan sadece 18 kişi binayı terk edebilmektedir. Dolayısı ile 48 kişinin, (kullanıcıların %73'ü) binanın

göçmesi durumunda yıkıntı altında mahsur kalabileceği rapor edilmektedir. Binada yangının birinci katta yer alan arşiv odasında çıktığı, ve zararlı çevre faktörlerinin (duman, toksik gazlar, sıcaklık) sol kule merdiveni ile zemin ve 1. kat koridorunun etkilediği varsayılmaktadır. İlk yangın senaryosunda binada tüm çıkış kapılarının açık tutulduğu esasına göre analiz yapılmaktadır. İkinci senaryoda ise binadaki gerçek durumu yansıtan, 2 ve 3 nolu çıkış kapılarının kilitli olduğu durum analiz edilmektedir. Her 2 senaryoda da boşaltım süreleri aynı bulunurken (254.53s), çıkış kapılarının kilitli olduğu senaryoda ölüm sayısının arttığı görülmektedir. Ölüm sayısının ilk senaryoda 20 kişi, 2. senaryoda ise 22 kişi olacağı öngörülmektedir. Ölen kişilerin kimlikleri, konumları ve ölüm süreleri modellemede tespit edilebilmektedir. Ölen kişilerin büyük bir kısmının sireni dikkate almayan tepki süreleri uzun olan kullanıcılar oldukları belirtilmektedir.

Zhi et. al., [2003], performans tabanlı yangın güvenlik yönetmeliklerinin İngiltere, Avustralya, Yeni Zelanda ve Hong Kong gibi ülke ve şehirlerde yaygınlık kazanmasıyla gerekliliği daha da bir önem kazanan boşaltım modellerinde, CAD çizimlerinden mimari planların kullanımı kolaylaştıran bir ara yüz yazılımı geliştirmişlerdir. Kendi geliştirdikleri ‘SGEM’ (Spatial-grid Evacuation Model) boşaltım analizi yazılımında adaptasyonunu gerçekleştirdikleri ara yüz algoritmasında, ‘AUG’, (Automatic Unit Generator) aşağıda verilen işlemler yapılabilmektedir:

1. Boşaltım analizlerinde gerekli olmayan; ölçü çizgilerinin, yazıların ve diğer teknik sembollerin plan üzerinden otomatik silinmesi,
2. Mimari plan üzerinde kapı, koridor ve hollerin otomatik olarak belirlenmesi,
3. Mekan üniteleri arasındaki bağlantı ilişkisinin otomatik olarak belirlenmesi, mekan içinde yer alan mobilya ve diğer engellerin, ve çıkış kapılarının tanımlanması,

Bina planının ünitelerden oluştuğu, ünite, kapı ve pencerelerin ise döngüsel geometri (loop) ile oluştuğu, döngüsel bir sistemin de doğrusal vektörlerle tanımlandığı varsayılarak 3. maddede verilen ilişkiler kurulmaktadır. Bina sisteminin dış sınırları saat yönüne, iç mekan sınırları ise saat yönünün tersine döngü

kullanılarak ayırt edilmektedir. Semboller ve ölçüler ayrı tabakalarda oluşturulduğu takdirde ilgili tabakaların tanınarak silinmesi mümkün olmaktadır. Mimari plan üzerine direkt olarak işlenen semboller ise, sembol blokları ile ayırt edilmektedir. Ancak transfer işlemi dahilinde kaybedilen sembol blokları için tekrar blok işlemi yapılarak, analizlerde gereksiz olan bu bilgilerin silinebilmesi mümkün olabilmektedir.

Mimari plan iki ayrı tip objeyle ifade edilmektedir; nodal ve kenar objeler. Nodal objeler asansör, merdiven ve köşe noktaları belirlemekte, kenar objeler de kapı, pencere, kolon ve duvarları tanımlamaktadır. Döngünün pozitif (saat yönünün tersi) ya da negatif (saat yönü) olduğu döngü koordinatlarının verdiği alanın, 'MAFL', (Minimum Area Fundamental Loop) işaretine bakılarak anlaşılmaktadır. Döngüsel elemanlar, beş kategoride değerlendirilmektedir; mekansal döngüler, fiziksel döngüler (duvar, kolon, shaft boşlukları vs.), kapı döngüleri, pencere döngüleri ve tanımlanamayan diğer döngüler. Yazarların önerdiği boşaltım modeli 'SGEM' için uygun olan bu algoritma, binanın CAD plan çizimlerini nodal bir ağ sistemine çevirmekte, ve daha sonra boşaltım süreci en güvenli rota ya da en kısa kat edilen yol seçeneğine göre yürütülmektedir.

Shih, et. al., [2000], bilgisayar ortamında sanal gerçeklik tekniğini (Virtual-Reality) kullanarak boşaltım süresi modellenmesinin gerçekçi bir biçimde yapılabileceğini, ve diğer analitik modellere göre daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini iddia etmektedir. Japonya ve Taiwan'da yangın güvenlik yönetmeliklerinin, binayı kendi içinde alt kısımlara bölerek (zoning) her bir alt-bölgeye ayrı bir çıkış kapısı temin edilmesi şartını koştugu belirtilmektedir. Bu koşulla, kullanıcıların bulundukları alt-bölgenin çıkışını tercih edecekleri kabulü yapılmaktadır. Ayrıca, her kullanıcının çalıştıkları ya da bulunacakları konuma göre en yakın çıkışın kendilerine bildirilmesinin yönetmeliklerce arandığı bildirilmektedir. Böylece, kullanıcıların en yakın çıkışı tercih edecekleri kabulü de yapılmaktadır. Yazarlar, bu kabullerin uygulamada ne derece geçerli olduğunu, yangın geçirmiş ve tekrar inşa edilerek kullanılan bir Karaoke gece kulübünde, 3D WebMaster yazılımında hazırlanan sanal gerçeklik analizleri yürüterek incelemektedirler. Binada işaretleme ve dumanın görüş kısıtlaması (zehirleme etkisi ele alınmamaktadır!) etkilerinin olup olmadığına göre dört ayrı kombinasyon

senaryosunun her biri, yaşları 20 ile 30 arasında değişen 20 denek üzerinde uygulanmıştır. Test edilen binanın dört ayrı alt-bölgeden oluştuğu, yangının bu bölgelerden birinde mutfak olarak kullanılan mekanda çıktığı ve bu alt-bölgeye ait çıkışa ulaşılamayacağı varsayımı yapılmaktadır. İlgili alt-bölgeye, her denek girişten itibaren refakat edilmekte, yangın esnasında bulunacakları odaya getirildikten, binayı en kısa zamanda derhal boşaltmaları istenmektedir. VR simülasyonunda görüş yüksekliği 1.60m göz yüksekliğine, yürüme hızları 1m/s'ye göre ayarlanmakta, duman koşullarında görüş mesafesi 2 ile 4m arasında değiştirilmektedir. Denekler bina planını daha önceden inceleyememekte ve boşaltım simülasyonu esnasında herhangi bir yardım almamaktadırlar. Test edilen binanın, yönetmeliklerce aranan koşulları yerine getirdiği, ilgili yönetmeliğin şart koştuğu Denklem (2.33)-(2.34) ifadelerini sağlaması ile doğrulanmaktadır.

$$\text{Min. } T = 2\sqrt{\sum \text{yapı alanı}} \quad (2.33)$$

$$\text{Min. } T_{\text{zone}} = \max\left[\left(n / 1.5 W_{\text{eff}}\right); \left((L_x + L_y) / v\right)\right] \quad (2.34)$$

Burada, 'n' ilgili alt-bölgede bulunan kişi sayısını, 'W_{eff}' efektif çıkış kapısı genişliğini, 'L_x, L_y' çıkışa en uzak kişinin çıkışa noktasına göre kartezyen koordinatlarını, 'v' ise yürüme hızını ifade etmektedir. Hesaplanan her alt-bölge boşaltım süresinin, 'Min. T_{zone}', kritik boşaltım süresini, 'Min. T' aşmaması, yönetmeliklerce binanın uygunluğu için yeterli olmaktadır. Kullanıcının boşaltım süreci esnasında davranış biçimlerini ayırt etmek maksadıyla, farklı senaryolar için, 10 ayrı davranış biçimi gözlemlenmekte ve tercih yüzdelere göre her bir senaryo için grafiklerle ifade edilmektedir:

1. Bilinen rotayı izleyerek boşaltma girişimi,
2. Bilinen rotayı takip ederek binayı boşaltma,
3. Giriş kapısından binayı boşaltma,
4. Doğrusal hareket ederek binayı boşaltma,
5. İşaretlemeleri takip ederek binayı boşaltma,
6. Kavşaklarda hep sola dönerek binayı boşaltma,
7. Açık alanlara veya hollere yönelerek binayı boşaltma,
8. Bilinçsizce hareket ederek binayı boşaltma,
9. Farklı bir alt-bölgenin çıkış kapısını kullanarak binayı boşaltma,

10. En kısa çıkış yolunu takip ederek binayı boşaltma.

Yönetmeliklerce öngörülen rotanın tercih edilme oranı (5. seçenek) işaretlemenin olduğu ve dumanın olmadığı senaryo da dahi %85 oranını aşmadığı tespit edilmektedir. Duman ve işaretlemelerin aynı anda bulunduğu koşullarda tercih olasılığı %45 civarında bulunmaktadır. Diğer senaryolarda ise bu rota hiç tercih edilmemiştir. Kısacası alt-bölgelerin kullanılacaklarını öngördükleri çıkışlarla, gerçekte tercih edilenler arasında ciddi farklılıklar gözlemlenmiştir. Kullanıcılar çoğunlukla açık alanlara yönelenerek ve bildikleri rotaları kullanarak binayı boşaltma eğilimi göstermişlerdir. Çoğunlukla tercih edilen davranış biçimlerinde gözlemlenen boşaltım sürelerine bakıldığında, yönetmelikte aranan sürenin altında, 60s civarında oldukları görülmektedir. Ancak, oldukça yaygın diğer bir davranış şekli olarak belirlenen bilinçsiz hareket halinde -%30-50 tercih oranı (8. seçenek)-, boşaltım süresinin 120s'nin üzerine çıkabileceği, ilginç bir sonuç olarak bulunmaktadır. Hem duman hem de işaretlemenin olduğu senaryoda, kullanıcıların %60'ının geniş alanlara yönlendiği ve 60s'de binayı boşaltabildiği belirlenmektedir. Sadece işaretlemelerin olduğu senaryoda, kullanıcıların %85'i işaretlemeleri takip etmiş ve binayı 50s'de boşaltmıştır. Sadece duman koşullarının yaratıldığı simülasyonda, %80 kullanıcı bildikleri rotayı ve geniş bölgelere yönelmeyi tercih etmiş ve binayı 60s'de terk etmiştir. Hem işaretleme hem de duman yokken, sadece duman koşullarının olduğu durumla aynı bulgulara ulaşılmıştır. Yöntem, yönetmeliklerde öne sürülen çoğu kabulün doğru olmadığını vurgulaması ve performans tabanlı değerlendirme yapılmasının önemini desteklemesi bakımından son derece önemli bulunmaktadır. Ancak, önerilen modelin ne kullanıcı etkileşimini, ne sıkışma, ne de boşaltım öncesi hareketlerini modellemede yeterli olamayacağı anlaşılmaktadır.

Bu ayrıntıda ifade edilen boşaltım analizleri ve bulguları değerlendirildiğinde, bu araştırma alanında çok mesafe kat edildiği, ve binaların yangın güvenliğinin belkemiğini oluşturan bu bina kriterinin, geleneksel yangın yönetmeliklerinde verilen basit ampirik formül ve kemikleşmiş mimari kurallar serisi ile sağlanamayacağı açıklık kazanmaktadır. Konu, boşaltım öncesi aktiviteleri, kişinin fizyolojik kapasitesini ve psikolojik özelliğine bağlı olarak davranış ve karar verme mekanizmasını içermesiyle, oldukça kompleks bir problem yaratmaktadır. Bu yüzden, konu hakkında yapılacak araştırmalarda, teknolojinin sağladığı en ileri

yazılım araçlarının, bilinçli ve bilimsel bir tabana oturan kullanımı gerekli olmaktadır. Tezde, bu yazılım araçlarının en başında gelen, buildingEXODUS yazılımının kullanımı, literatür araştırmasından da anlaşılacağı üzere, gösterdiği üstün performans sebebiyle tercih edilmektedir.

3. ACİL BOŞALTIM SÜRESİNİN MODELLENMESİ VE SAHA ÇALIŞMASI

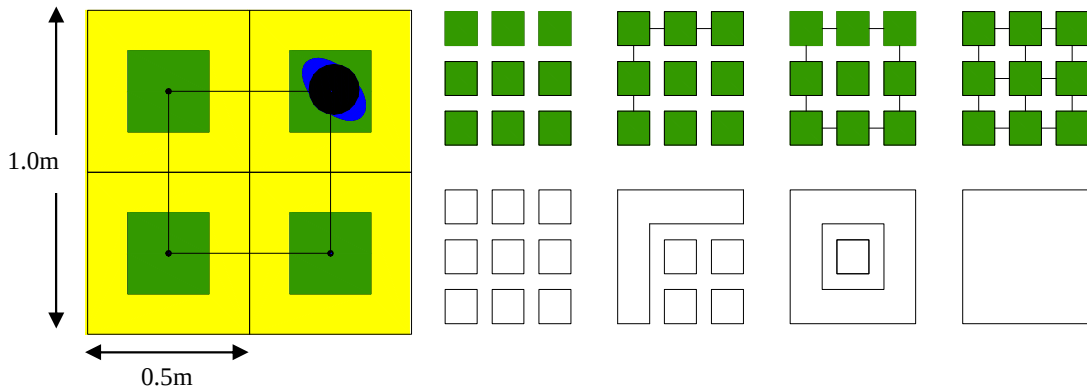
3.1. ‘buildingEXODUS’ Yazılımının Teorik Yaklaşımı

Boşaltım analizi ‘buildingEXODUS’ yazılımı kullanılarak yapılmaktadır [BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, 2001]. Yazılım, insan-insan, insan-çevre koşulları ve insan-mimari geometri etkileşimini modelleyecek biçimde önceden belirlenmiş karar mekanizmalarına bağlı olarak C++ bilgisayar dilinde hazırlanmıştır. Program mühendislik tabanlı yazılımlarda olduğu gibi belirli denklem takımlarının matematiksel çözümünü içermemektedir. Önceden belirlenmiş koşullara bağlı olarak yürürlüğe giren karar mekanizmaları (rule-base concept) yazılım algoritmasının akışını kontrol etmektedir. Karar mekanizmaları, dört ana alt birim içinde sunulan kriter seçeneklerinin, yazar tarafından yapılan saha çalışmasına bağlı olarak tercih edilmesi ile belirlenmektedir. Yazılımda kullanılan ve birbirleriyle etkileşim halinde bulunan alt program birimleri aşağıda verilmektedir:

1. Bina kullanıcısının fizyolojik özelliklerinin tanımlandığı birim (Occupant),
2. Bina kullanıcısının hareketlerini kontrol eden özelliklerin tanımlandığı birim (Movement),
3. Bina kullanıcısının kaçış stratejisini kontrol eden özelliklerin tanımlandığı birim (Behaviour),
4. Bina kullanıcısının tolerans göstereceği zehirli gaz konsantrasyonu, radyant-konvektif ısı güç ve oksijen yetersizliği limitlerinin tanımlandığı birim (Toxicity),
5. Yangın nedeniyle oluşan zararlı çevresel faktörlerin (ısı, duman ve zehirli gazlar) tanımlandığı birim (Hazard).

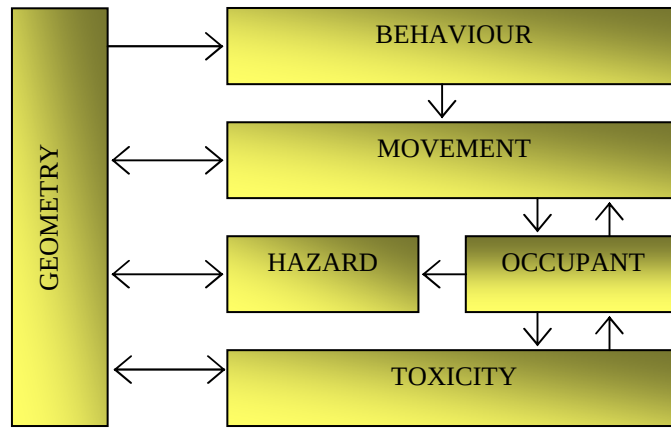
Kullanıcı fizyolojik özelliklerini tanımlayan alt birim (Occupant) dışındaki tüm alt birimler direk olarak mimari geometriyi tanımlayan ana modül (Geometry) ile bağlantılıdır. Bu modülde DXF formatındaki herhangi bir çizim dosyası içindeki

mimari plan, ya da program içindeki çizim araçlarıyla oluşturulacak plan geometrisi 0.5x0.5m boyutunda karesel birimlerle iki boyutlu bir ağ sistemine dönüştürülmektedir. Düğüm noktası olarak adlandırılan bu karesel birimler belli bir zaman diliminde tek bir bireyin tek başına işgal ettiği alanı temsil etmektedir. Tüm insan hareketleri düğüm noktalarını birbirine bağlayan hat doğrultuları boyunca yapılmaktadır. Bir düğüm noktası en az bir en fazla sekiz bağlantı hattı içerecek biçimde modellenmektedir. Şekil 3.1’de gösterilen düğüm noktalarının geometrisinden, bağlantı hatları uzunluğu 0.5m ile $(0.5)^{\frac{1}{2}}$ m arasında değişmektedir. Her düğüm noktası kaçış stratejisi ve hareket hızlarını kontrol eden ‘Behaviour’ ve ‘Occupant’ alt birimlerinden uygun bilgileri kullanacak ve düğüm noktasının yer aldığı konumun özelliklerini verebilecek biçimde sekiz ayrı tiple donatılabilmektedir. Ayrıca yangının konumuna göre ‘Hazard’ alt biriminden elde edilen düğüm noktalarının zararlı çevresel faktörleri tanımlanabilmektedir. Bu durumda yukarıda verilen alt birimlere ek olarak ‘Toxicity’ alt biriminden de uygun bilgiler kullanılarak karar mekanizmaları programın akışını oluşturmaktadır. Bağlantı hatları geçiş güçlüğüne belirleyen 1 ile 7 arasında değişen güçlük dereceleri ile donatılabilmektedir. Benzer şekilde, kaçış stratejisi ve hareket hızları etkileneceğinden, ‘Behaviour’ ve ‘Occupant’ alt birimleri, program akışını etkileyen karar mekanizmaları için gerekli bilgiyi sağlayacak biçimde, etkileşim içine girmektedir. Yazılım içinde tüm karar ve hareketlerin saniyenin 1/12’si olarak tanımlanan birim zaman dilimi içinde gerçekleştiği kabul edilmektedir. Şekil 3.2’de program ana modülü ‘Geometry’ ve diğer alt birimler arasındaki etkileşim diyagramı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Modül boyutları ile bağlantı hatlarının koordinasyon ve mesafeleri.

Yazılım algoritmasından anlaşılacağı üzere, modellemenin doğru sonuçlar verebilmesi tamamen alt birimlerde tanımlanan bilgilerin gerçek durumu ne kadar iyi yansıtabildiği ile alakalıdır. Bu durumda alt birimlerin hangi verilere ihtiyaç duyduğu, ve program kullanıcısının müdahalesinin gerekli olmadığı durumlarda, kullanılan verilerin eldesi için ne tür bir uygulamanın kullanıldığının bilinmesi gerekmektedir. Her bir alt birimde kullanılan verilerle ilgili özet aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 3.2. Program modülleri arasında etkileşim diyagramı.

‘Occupant’ alt birimi; fizyolojik parametrelerden her bir kullanıcının cinsiyetini, yaşını, boy ve kilosunu gerektirmektedir. Cinsiyet tek başına bireyin atıklık ve kararlılığını belirlerken, yaş ve cinsiyet kombinasyonunun bireyin hareket hızını, tahammül göstereceği zehirleyici gaz karışım (FIN) ve ısı güç (FIH) limitlerini etkilediği varsayılmaktadır. Yaş ve cinsiyetle birlikte, boy ve kilonun ise bireyin CO tahammül sınırlarını belirleyen kandaki ‘COHb’ düzeyini (PID) kontrol ettiği kabulü yapılmaktadır [Gwynne et. al., 2001, BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, 2001]. Boy ve kilonun belirli olmadığı durumlarda, yaş ve cinsiyete bağlı olarak tahmin, İngiliz tıp istatistiklerinden faydalanılarak yapılmaktadır [BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, 2001]. Bireyin hareket hızlarının belirlenmesinde mobilite faktörü olarak tanımlanan ve değeri 0 ile 1 arasında değişen bir rakam, ‘Toxicity’ alt birimden hesaplanan ‘FIN’ değerine ya da Jin’in deneysel çalışmalarından [BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, 2001] elde edilen duman optik yoğunluk katsayısına bağlı olarak hesap edilmektedir. Mobilite katsayısı Fruin’in [1971], deneysel

çalışmalarından [BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, 2001] elde edilen farklı cinsiyet ve yaş grupları için hızlı yürüme, normal yürüme, sıçrayarak yürüme, emekleme, merdiven aşağı-yukarı yürüme hızlarının azaltılmasında kullanılmaktadır. Yazılım kullanılacak hareket hızına modelde öngörülen düğüm noktası tipine, düğüm noktasına atanan zararlı çevresel etkenlere ve bağlantı hattının güçlük derecesine bağlı olarak karar vermektedir. Mobilite faktörü, değeri 0 ile 7 arasında bir rakam olarak tanımlanan atıklık kabiliyetinin - bireyin koltuk ya da diğer alçak engellerin üzerinden atlama kabiliyeti- düşürülmesinde de kullanılmaktadır.

Yazılımda değerlendirilen bireyin fiziksel özelliklerinden bir diğeri akciğerin dakikada hava soluma hacmi 'RMV' değeridir. Yazılımda 'RMV' değerleri, bireyin hareket hızına ve cinsiyetine bağlı olarak, 7.65 ile 50l/dak. arasında değiştiği kabul edilmektedir. Bu değerler 'Toxicity' alt biriminde hesaplanan bireyin zehirleyici gaz tahammül sınırlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bireyin psikolojik özellikleri -kararlılık, sabırlılık ve tepki süresi- yazılımda modellemeyi yapan kişi tarafından saptanması gereken verilerdir. Burada, kararlılık 1 ile 15, sabırlılık 1 ile 1000s, tepki süresi 0 ile 10000s arası değişen bir rakam olarak değerlendirilmelidir. Kararlılık kriteri aynı düğüm noktasını hedefleyen birden fazla bireyden hangisinin başarılı olacağını, sabırlılık kriteri sıkışmalarda bireyin fikrini değiştirerek başka bir kaçış rotası belirlemesi için gerekli süreyi, tepki süresi ise bireyin boşaltım uyarısını aldıktan sonra harekete geçme süresini tanımlamaktadır.

Bireyin acil kaçış kapısı bilgisi (OEK) ve varsa, binayı terk etmeden yapması zorunlu işler (OIL) modellemeyi yapan kişi tarafından programda tanımlanmalıdır. 'OEK' kullanıcının bildiği acil çıkış kapılarının tercih sıralamasını, 'OIL' ise binayı terk etmeden gitmesi gerekli düğüm noktasını ve orada harcaması gereken süreyi değerlendirmektedir. 'OEK' parametresinin belirli olmaması durumunda, modellemeyi yapan kişi her bir kullanıcı için bir hedef acil çıkış kapısı (Target exit) belirleyebilir ya da bireyin en yakın acil çıkış kapısına hareket edeceğini (Potential map) varsayabilir.

Kullanıcıların zehirli gaz konsantrasyonlarına tahammül seviyeleri ile konvektif ve radyant ısı güçlere karşı dayanım seviyeleri direk modellemeyi yapan kişi tarafından ya da ‘Toxicity’ alt biriminde modellemeyi yapan kişi tarafından temin edilen fizyolojik bilgiler ve deneysel çalışmalardan elde edilen ampirik bağıntılara bağlı olarak hesaplanmaktadır. Yazılımda göz önüne alınan ve her bireyin etkilenmesi muhtemel zararlı çevresel etkenler aşağıda verilmektedir:

1. Bilinç kaybına yol açan kanda COHb yüzdesi (PID) –otomatik kullanım,
2. Bireyin hareket kabiliyetini tamamen yok eden radyant ve konvektif ısı güçlerinin birikimli değeri (FIH) –otomatik kullanım,
3. Bireyin hareket kabiliyetini tamamen yok eden radyant ısı gücünün değeri (FIHr) -otomatik kullanım,
4. Bireyin hareket kabiliyetini tamamen yok eden konvektif ısı gücünün değeri (FIHc) –otomatik kullanım,
5. Bireyde karar değişikliği yaratacak radyant ısı gücünün değeri (D_r), 80-1000s (KW/m^2)^{4/3} arası bir değer alınabilir –kullanıcı belirli,
6. Bilinç kaybına yol açan CO konsantrasyonu (FICO) –otomatik kullanım,
7. Bilinç kaybına yol açan HCN konsantrasyonu (FICN) –otomatik kullanım,
8. Bilinç kaybına yol açan O₂ eksikliği (FIO) –otomatik kullanım,
9. Teneffüsü artırıcı CO₂ konsantrasyonu (VCO₂) –otomatik kullanım,
10. Bilinç kaybına yol açan CO₂ konsantrasyonu (FICO₂) –otomatik kullanım,
11. Bilinç kaybına yol açan HCN, CO, CO₂ ve O₂ yetersizliğinin birikimli etkisi (FIN) –otomatik kullanım.

‘Movement’ alt birimi; düğüm noktası tipine, bireyin atıklık düzeyine (Agility) ve bağlantı hattının güçlük derecesine (Obstacle) bağlı olarak hareket hızını belirlemektedir. Bu alt birim ilgili parametre değerlerini ‘Occupant’ alt biriminden ve ‘Geometry’ ana modülünden elde etmektedir. Ayrıca ‘Behaviour’ alt birimi ile ilişki kurarak, bireylerin kaçış rotalarını kontrol etmek suretiyle hareketin intikal edeceği uygun bir düğüm noktası araştırmaktadır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda bireylerin bulundukları düğüm noktalarında sabırlılık derecelerine (Patience) göre

bekletilmelerini sağlamaktadır. Hareket hızı kararları çift birim zaman dilimlerinde, intikal kararları tek birim zaman dilimlerinde, bekleme kararı ise sürekli alınabilmektedir.

‘Hazard’ alt birimi; modellemeyi yapan kişi tarafından belirlenecek bir yangın senaryosu sonucunda oluşan zararlı çevresel etkenlerin $-CO_2$, CO, HCN konsantrasyonu, O_2 eksilmesi, radyant ve konvektif ısı güç değerleri, duman optik yoğunluğu- atmosferdeki düzeylerinin saklandığı birimdir. Üç ayrı yöntem kullanılarak veri girişi sağlanmaktadır:

1. Düğüm noktalarına değerlerin manuel olarak atanması,
2. Belirli bir zaman dilimi için, belirli bir bölgede zararlı etkenlerin değişiminin polinom fonksiyonları ile hesaplanması,
3. Daha önce kullanılmış ve kaydedilmiş bir senaryonun bilgilerinin kullanılması,
4. CFAST [CFAST User Guide and Technical Manual, 2002] yangın atmosferik özelliklerinin belirlenebildiği yazılımın çıktı bilgilerinin kullanılması.

Yazılım yukarıda bahsi geçen değerleri baş hizasında (Head height) ve döşeme tabanı hizasında (Floor height) olmak üzere iki ayrı düzeyde belirlenmesini gerektirmektedir. Döşeme hizası değerleri emekleme hareketi yapıldığında değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu alt birimde acil çıkış kapılarının bozularak tıkanıklık yaratması bekleniyorsa, bunun oluşmasının öngörüldüğü zaman ve süre tanımlanabilmektedir.

‘Toxicity’ alt birimi; kullanıcılarda bilinç kaybına yol açan zehirli gaz konsantrasyonlarının, ısı güç ve oksijen eksikliğine tahammül limitlerinin hesaplandığı birimdir. ‘Occupant’ alt birimi ile temas kurularak, kullanıcı fiziksel özelliklerinin ampirik bağıntılarda kullanılması sağlanmaktadır. Zehirli gaz konsantrasyonları ve diğer tahammül sınırları için kullanılan bağıntılar, Purser, [1995], Speitel, [1995] tarafından yayımlanmış çalışmalara dayandırılmaktadır. Bağıntılar zararlı gaz teneffüsünde CO_2 ’in teneffüs artırıcı etkisini (VCO_2) ve kişisel

teneffüs kapasitelerini (RMV) değerlendirebilmektedir. %5 CO₂ konsantrasyonunun ‘RMV’ değerlerini 2.72 kat arttıracak kabul edilmektedir.

Radyant ısı güç limitleri için acı çekme seviyesi 24 saniye süresince 2.5KW/m², hareket kabiliyetinin ortadan kalkma seviyesi ise 5 dakika süresince 2.5KW/m² olduğu varsayılmaktadır. Modellemeyi yapan kişinin bu alt birimde tanımlayacağı diğer iki parametre kullanıcının kişisel tepki sürelerini beklemeden binayı terk etmesini sağlayacak tetikleme sıcaklığının (Triggering temperature) –0-1000°C- ve duman yoğunluğunun (Triggering smoke concentration) –0.0-1.0/m- alt sınır seviyelerinin tanımlanmasıdır.

‘Behaviour’ alt birimi; ‘Global’ ve ‘Lokal’ olmak üzere, iki farklı kaçış stratejisini kontrol eden parametreleri tanımlamaktadır. ‘Global’ kaçış stratejisinde, modellemeyi yapan kişinin tercihine bağlı olarak, bireylerin akışı en yakın acil kaçış kapısına (Potential map), önceden belirlenmiş herhangi bir acil kaçış kapısına (Target exit), ya da her bireyin aşına olduğu acil kaçış kapılarına (OEK) yönlendirilebilir. Yazılımda hareket yönlendirmesi en kısa rotanın takip edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu koşul sağlanmadığı takdirde, bireyler bekleme hareketi ya da tıkanıklığın etrafından en kısa rotayı takip ederek hedefe ulaşma hareketi yapmaktadırlar. ‘Global’ kaçış stratejisinde, ‘Lokal’ kaçış stratejisinden farklı olarak, sabır süresi bekleme durumunu etkilememektedir. Bu stratejide sabır süresi binayı terk etmeden önce yapılacak işlerin uzaması halinde işin bırakılması kararının zamanlamasını kontrol etmektedir.

‘Lokal’ kaçış stratejisi birey-bireye, birey-zararlı çevre koşulları ve birey-düğüm noktası koşulları etkileşimini sağlayarak hareket akışının doğrultusunu kontrol etmektedir. Ekstrem ve normal şartları içeren iki ayrı koşul opsiyonu bulunmaktadır. Ekstrem koşul opsiyonu seçildiği takdirde, bireylerin düğüm noktasında bekleme süreleri sabır düzeyleri ile sınırlandırılmaktadır. Bu süre aşıldığı takdirde kullanıcılar en yakın başka bir acil çıkışa yönlendirilmektedirler. Bu kaçış stratejisinde kullanıcıların akışı yön değiştirebildiğinden, bir düğüm noktası birden fazla kullanıcı tarafından aynı anda işgal edilmek istenebilir (Conflict). Bu durumda kararlılık derecesi (Drive) yüksek bireyin başarılı olacağı ve karşılaşan tüm bireylerin gecikme cezası alacağı kabulü yapılmaktadır. Ters yönlere hareket eden

bireylerin (Contra flow) karşılaştıklarında yan yana geçmeleri mümkün kılınmaktadır. Benzer şekilde hızlı hareket eden bireylerin yavaş hareket edenleri en yakın bitişik düğüm noktalarını kullanarak geçmesine müsaade edilmektedir (Overtaking). Duman engeli ile karşılaşan bireylerin sendeleme hareketi yaparak ilerlemesi (Smoke stagger), duman optik yoğunluğu ve Jin'in deneysel çalışma bulgularına bağlı olarak aktive edilebilmektedir [BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, 2001]. Sendeleme hareketi bireyin önünü görememesi nedeniyle, optik yoğunluğu düşük düğüm noktasına yönlendirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu hareketi sağlayan optik yoğunluk 0.1/m- 0.5/m arasında değişmektedir. Eğer bağlantı hatları duvar sınırlarını belirliyorsa ve bireye yeterince yakınsa, duvara tutunarak yürüme olasılığı tercih edilmektedir. Duman engeli, duman yoğunluğunun 0.1/m değerinden yüksek olduğu durum olarak tanımlanmaktadır. Duman engeli ile karşılaşıldığında bireyin yön değiştirme ya da duman içine girme kararı, hedef çıkışın görüş mesafesinde olup olmadığı ile belirlenmektedir. Görüş mesafesi Jin'in [1976] görüş mesafesi bağıntısına göre hesaplanmaktadır. Çıkışın görüş mesafesinde olmadığı durumlarda ise, Bryan, [1995], ya da Wood, [1990], tarafından rapor edilen istatistiksel verilere bağlı olarak bireylerin cinsiyet ve yaşına göre karar mekanizmaları oluşturulmaktadır. Bireylerin seçimi probabilistik olarak karar verildiğinden yazılımın aynı koşullar için tekrar edilmesi durumunda aynı sonuçlar elde edilememektedir [Bryan, 1995].

Detayları iyice anlatılan yazılımın oldukça kapsamlı bir veri girişine ihtiyaç duyduğu rahatça görülmektedir. Modelleme yapan kişinin doğru sonuçlara ulaşabilmesi için senaryo şekillerini, kullanıcı özelliklerini, ortam koşullarını ve program içinde sunulan opsiyonları dikkatli kullanması gerektiği açıktır.

3.2. Saha Çalışması

Saha çalışmasının amacı yüksek binalarda meydana gelebilecek bir yangında oluşacak can kaybını ve sebeplerini ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla İstanbul Levent'teki Sabancı Center bina kompleksi içindeki Sabancı Holding Kulesi incelenmektedir (Bkz. Şekil 3.3). Kule, Türkiye'deki önemli yüksek binalardan biri

olması, çalışan sayısının fazla olması ve yönetiminin sağlamış olduğu imkanlar sebebi ile tercih edilmiştir.

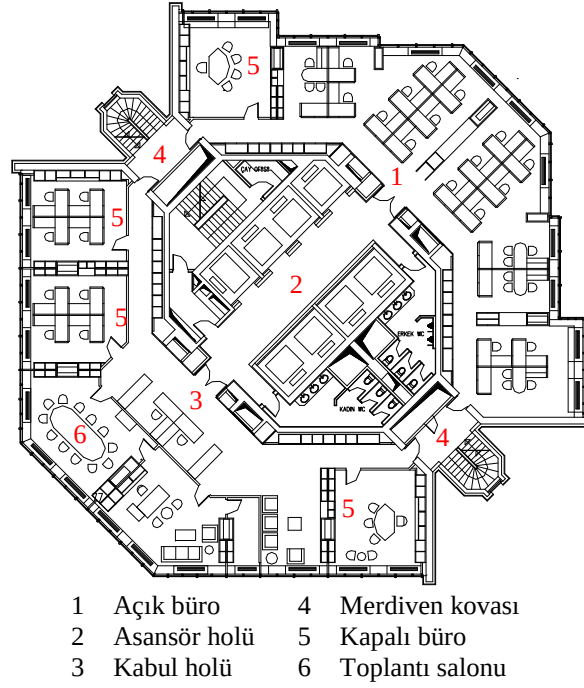
Betonarme iskelet olan bina, 107.000 m² toplam inşaat alanına sahip ve 157.32 m yüksekliğindedir [Sabancı, 2004].



Şekil 3.3. Sabancı Center genel görünümü [Sabancı, 2004].

Sabancı Center kompleksi 39 katlı Akbank Genel Müdürlük Kulesi ve 34 katlı Sabancı Holding Kulesinden oluşmaktadır. İncelenen Sabancı Holding Kulesinde 1226 Akbank'a ait ikinci kulede 1170 kişi çalıştığı bildirilmektedir.

Binada yangın güvenlik önlemleri aktif önlemler alanında yoğunlaşmakta, pasif önemlerle ilgili konuların fazlaca irdelenmediği gözlenmektedir. Aktif önlemler dahilinde alev ve duman detektörleri (sprinkler sistemi), kaçış yolu aydınlatması ve anons tipi alarm sistemi bulunmaktadır. Ayrıca kulelerde ikisi yangın, sekizi ekspres olmak üzere toplam 20 adet asansör mevcuttur (Bkz. Şekil 3.4).



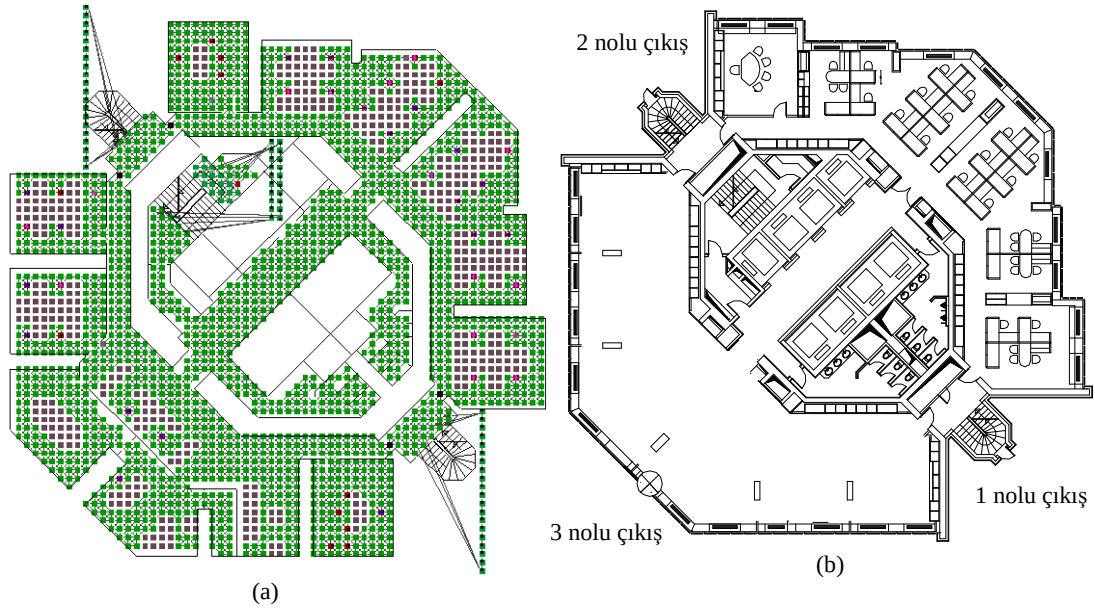
Şekil 3.4. Sabancı Center Kulesi mimari kat planı.

3.3. Modelleme Parametrelerinde Kullanılan Kabuller

Modellemede kullanılan parametreler; mekansal parametreler, kullanıcıya ait parametreler, duman ve yangınla ilgili parametreler ve senaryo parametreleri olmak üzere 4 ayrı sınıfta toplanmaktadır.

3.3.1. Mekansal parametreler

Sabancı Center yönetim kurulu tarafından izinle temin edilen normal katlara ait mimari statik ve tesisat projesi kullanılarak 'buildingExodus' yazılımında geometrik model merdiven ve modül bağlantı hatları oluşturmaktadır. Bina programa tanıtılırken, binaya ait CAD dosyası dxf formatına dönüştürülmek suretiyle çizim hatası içermeyecek biçimde geometrik modelle dönüştürülmüştür. Mekanın işlevine ve iç tefrişine göre fonksiyon değiştiren 0.5 x 0.5 m modüller, geometrik model üzerine yerleştirilmiştir. Kullanıcıların bina içindeki konumları ve kaçış esnasında engel teşkil eden mobilya tefrişleri yine aynı plan dahilinde modellenmiştir. Geometrik model, modül tipleri ve bağlantı hatları ve çıkış kapılarının konumu Şekil 3.5 (a) ve (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 a) Geometrik model ve bağıntı hatları. b) Zemin kat planında çıkış kapılarının konumu.

3.3.2. Kullanıcılar İle İlgili Parametreler

Bina kompleksinde toplam 2400 kişi çalışmaktadır. İncelenen Sabancı Center Kulesinde ise 1226 kişi çalışmaktadır. Başlangıçta binanın tüm kullanıcılarına ait bilgilerin ayrı ayrı belirlenerek bağımsız olarak modelde kullanılması öngörülmekteydi. Ancak tüm kullanıcılarla ilgili verilerin toplanması, Sabancı Center çalışma verimini düşüreceği endişesi ve güvenlik nedenleri ile yönetim tarafından onaylanmamıştır. Yönetim önerisine bağlı olarak 3. ve 4. katların çalışanlarına ait veriler sadece 27 çalışan için elde edilebilmiştir. Böylece Ek 1 ve 2’de verilen anket formu sadece sınırlı sayıdaki örneklem kümesine uygulanmıştır. Bu anket formları ile ayrıntılı modellemede gerekli olan kullanıcılara ait parametreler; boy, kilo, sabır süresi (patience), kararlılık (drive), ataklık (agility), cinsiyet ve yaş ölçülmüştür.

Bulgular istatistiksel olarak değerlendirilerek tüm popülasyon üzerine sadece kadın ve erkek ayrımı gözetilerek genellenmiştir. Anket sonuçları değerlendirildiğinde kullanıcıların cinsiyetlerine göre yaşlarının iki ayrı kategoride yoğunlaştığı görülmektedir.

Tablo 3.1’de verilen bu aralıklara ait yüzdelere 1226 kişiye bu oranlar dahilinde uyarlanmıştır. Bu durumda, 17-29 yaş arasındaki kadın kullanıcı sayısı 167, erkek kullanıcı sayısı 108, 30-50 yaş arasındaki kadın ve erkek sayıları ise sırasıyla 387 ve 564 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Kullanıcıların cinsiyetlerine göre yaş dağılımları.

Cinsiyet \ Yaş	17-29	30-50
Kadın %	13,6	31,6
Erkek %	8,8	46

Kullanıcılara ait boy, kilo, sabır süresi, kararlılık değerleri ise, Denklem (3.1)’de verilen “Student’s t Dağılım Testi” uygulanarak belirlenmektedir. Anket verileri kullanılarak kısıtlı sayıdaki örneklemelerden $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyi için gerekli olan her bir parametrenin kadın ve erkek kullanıcılar için değer aralıkları elde edilmektedir. Her bir parametre tipi için, hesaplanan güven aralığı dışındaki değerler dışarıda bırakılarak aritmetik ortalamaları kadın ve erkek popülasyonu için modelde kullanılan iki ayrı veri grubunu teşkil etmektedir.

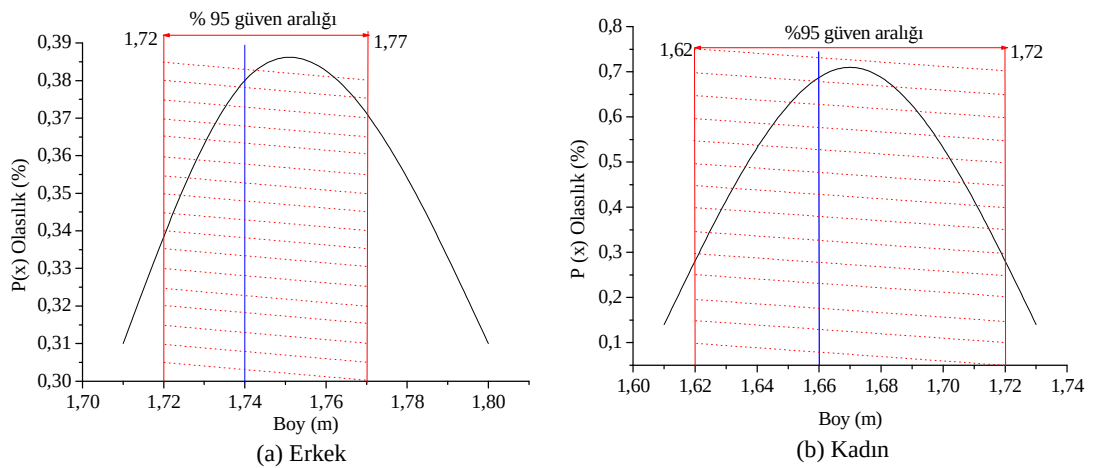
$$\bar{x} - \frac{t_{n-1}, \alpha/2 \cdot S_x}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + \frac{t_{n-1}, \alpha/2 \cdot S_x}{\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

Denklemde, $\bar{x}$, her bir parametrenin anket çalışmasından elde edilen değerlerin aritmetik ortalamasını, n anket sayısını, α anlamlılık düzeyini, S_x örneklemin standart sapmasını, μ ise gerçek popülasyonun aritmetik ortalamasının tahmin değerini ifade etmektedir. İncelenen her bir parametre ve kullanılan örneklem kümesi için normal olasılık dağılımları Şekil 3.6-3.9’da gösterilmektedir.

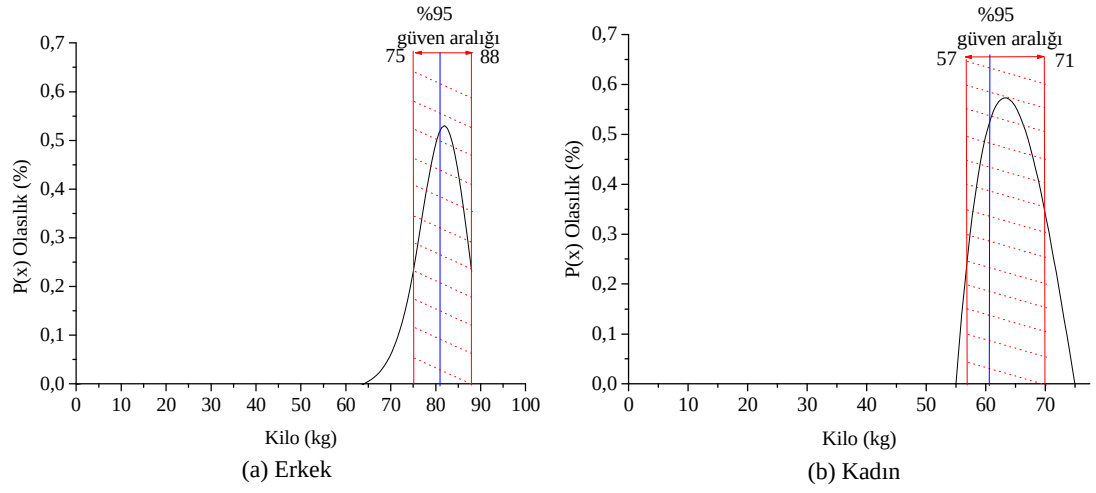
$\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyi için tahmin edildiğinde, erkeklerin boyunun 1,71 ile 1,78 arasında, kadınların ise 1,62 ile 1,72 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Her parametre için güven aralığı dışındaki değerlerin dışarıda bırakılması ile elde edilen ortalamalar hesaplandığında, erkek boyunun 1,74m, kadın boyunun ise 1,66m olarak kabul edilebileceği anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 3.6).

Benzer yöntemle, kullanıcıların kilolarının normal olasılık dağılımları incelendiğinde, erkek kilolarının 75 ile 88kg, kadın kilolarının ise 57 ile 71kg arasındaki değişeceği hesaplanmaktadır. Böylece erkek kullanıcıların kilosu 81kg, kadın kullanıcıların kilosu ise 61,5kg olacağı tahmin edilerek modelde kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 3.7). Psikolojik testler incelendiğinde sabır süresini ölçen belli bir testin bulunmadığı belirtilmektedir [Öner, 1997, Özgüven 2000]. Bu nedenle ankette kullanıcılara bir kuyrukta ne kadar bekleyecekleri sorularak sabır kriterleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sabır sürelerinin normal olasılık grafikleri Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Sabır süreleri değerlendirildiğinde, güven aralığının erkeklerde 171-283s kadınların ise 159-410s arasında yer aldığı anlaşılmaktadır. Sınır aralığına düşen sürelerin aritmetik ortalaması alındığında erkeklerin sabır süresi 178s kadınların sabır süresi ise 181s olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler modellemeye girdi olarak girilmektedir.

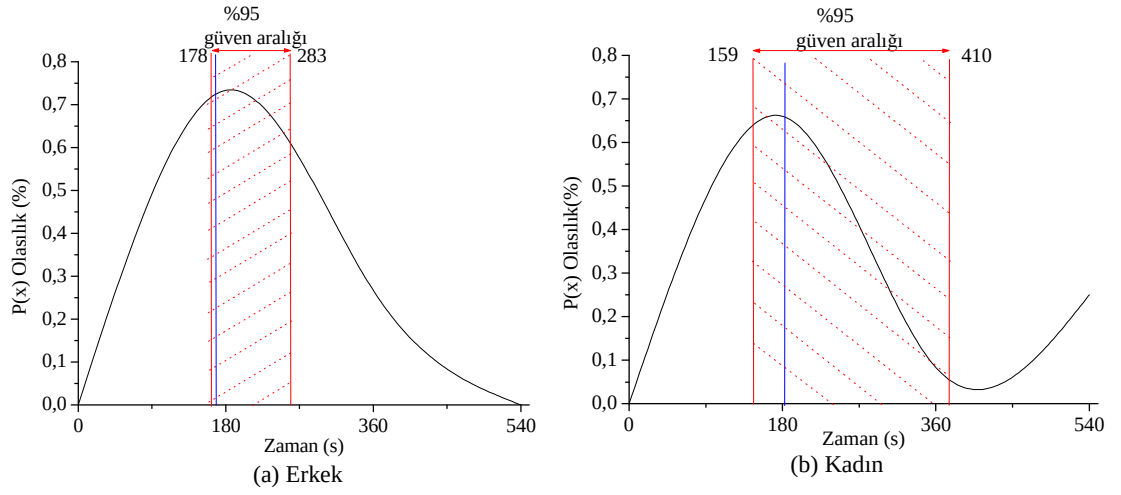
Kullanıcıların kararlılık düzeyleri anket formunda verilen standart psikolojik davranış testlerinden ‘Atılganlık Ratus Envanteri’ [PDR, 2004; Rathus, 1973] ile belirlenmiştir (Bkz. Ek.2). Test sonuçlarının normal olasılık dağılımı grafikleri Şekil 3.9’da cinsiyetlere göre sunulmaktadır. Bu değerler kadınlar için 53.7 ve erkekler için 29,17 olarak kabul edilmektedir. Ratus testi puanlama skalasının ‘buildingEXODUS’ yazılımında kullanılan kararlılık skalasına göre karşılıkları doğrusal oranlama yöntemi ile bulunmaktadır. Bu işlem sonucu 53.7 ve 29.17 değerleri yazılım skalası dahilinde sırasıyla 12 ve 10 değerlerine karşılık gelmektedir.



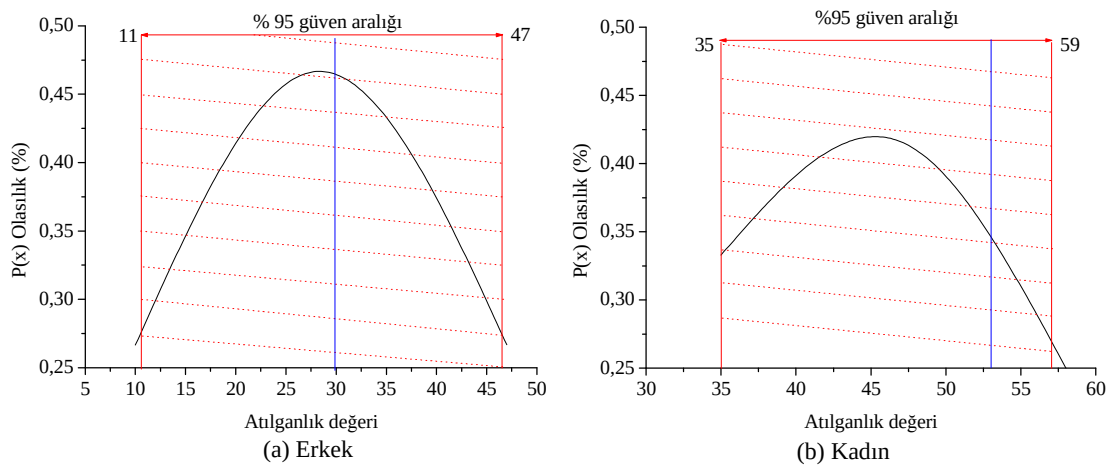
Şekil 3.6. Erkek ve kadın boy normal olasılık dağılımı.



Şekil 3.7. Erkek ve kadın kilo güven aralığı diyagramı.



Şekil 3.8. Sabır süresi olasılık dağılım eğrisi.



Şekil 3.9. Atılganlık değerleri normal olasılık dağılımı.

Kullanıcıların tepki sürelerinin belirlenmesi için, Sabancı Center’da yapılmış olan bir boşaltım tatbikatının video kayıtlarından faydalanılmaktadır. Bu görüntüler incelendiğinde kullanıcıların %22’sinin (%11 erkek %11 kadın) ilk 20s’de anons tipi uyarıya tepki göstererek harekete geçtiği, geri kalan kullanıcıların ise faaliyetlerine anons verilmeye başladıktan 95s sonra uygulanan elektrik kesintisine kadar devam ettikleri gözlemlenmektedir. Bulgulara dayanarak modellemede toplam kadın erkek popülasyonunun %11’inin 20s’de boşaltım hareketine başlayacakları, %78’inin ise sesli anonsa reaksiyon göstermeyecekleri ve harekete geçmede gecikecekleri kabul edilmektedir.

Kullanıcıların ataklık (agility) düzeyleri, Denklem (3.2)’de verilen vücut kütle indeksi (VKI) baz alınarak değerlendirilmektedir [Leonhard and Barry, 1998]. VKI indeksi yükseldikçe ataklık düzeyinin de artacağı varsayımı yapılmaktadır. ‘buildingEXODUS’ yazılımında VKI değerine karşılık gelen ataklık (agility) değeri doğrusal orantı ile hesaplanmakta ve Tablo 3.2’de verilmektedir.

$$VKI = \frac{\text{Kilo(kg)}}{(\text{Boy(m)})^2} \quad (3.2)$$

Tablo 3.2. Vücut kütle indeksi değeri [Leonhard and Barry, 1998].

VKI	Değer	BuildingEXODUS Yazılımındaki Karşılığı
Zayıf	<18.4	7
Normal	18.5-24.9	6
Fazla Kilo	>25	5
Pre- Obes	25-29.9	4
Şişman (Obes) Klas I	30-34.9	3
Şişman Klas II	35-39.9	2
Şişman Klas III	>40	1

Kadınların kilosunun 61kg ve boylarının 1,66m olduğu, erkeklerin ise kilosunun 81kg ve boylarının da 1,74m kabul edildiği göz önüne alınırsa VKI değerleri sırasıyla 22.13 ve 26.75 olarak hesaplanmaktadır. Tablo 3.2’de verilen ‘buildingExodus’ yazılımı değerleriyle eşleştirildiğinde, erkekler için ataklık değeri 4, kadınlar için ise 6 olarak belirlenmektedir.

Modellemede, yangın esnasında kullanıcıların daimi çalışma masalarının başında bulundukları kabul edilmekte, ve kendilerine atanan fiziksel ve psikolojik davranış parametreleri Tablo 3.3'te özetlemektedir.

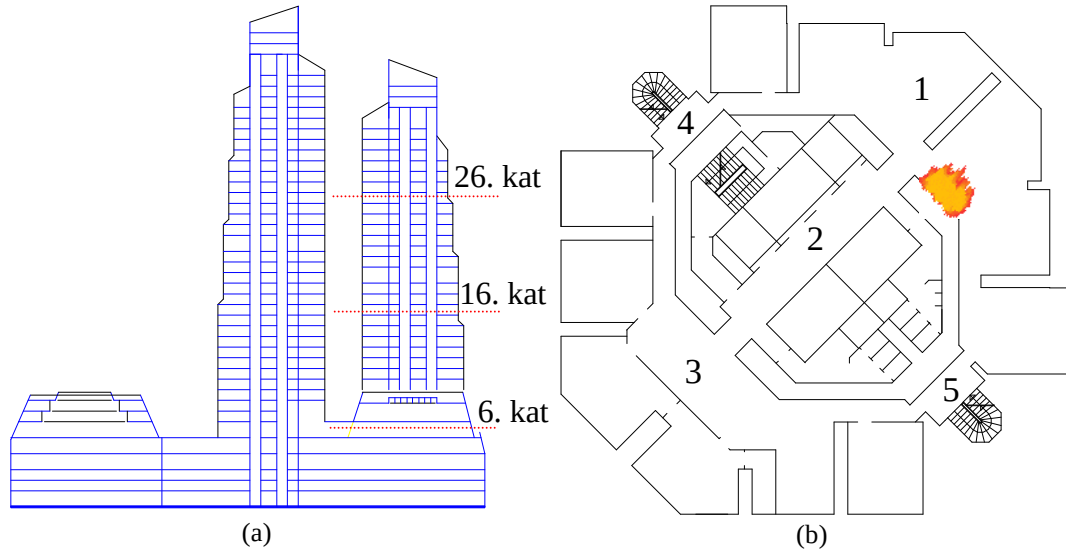
Tablo 3.3. Kullanıcı parametreleri.

	Kadın	Erkek
Boy (m)	1.66	1.74
Kilo (kg)	61.5	81
Sabır (s)	284	179
Tepki süresi (s)	20/95	20/95
Kararlılık (birimsiz)	12	10
Ataklık (birimsiz)	6	4

Kullanıcıların çıkış bilgisi ise yine anket sonuçlarına verilen cevaplardan çıkan yüzdelerin 1226 kişiye oranlanması sonucu elde edilmiştir.

3.3.3. Yangın ve Duman Karakteristikleri ile ilgili Parametreler

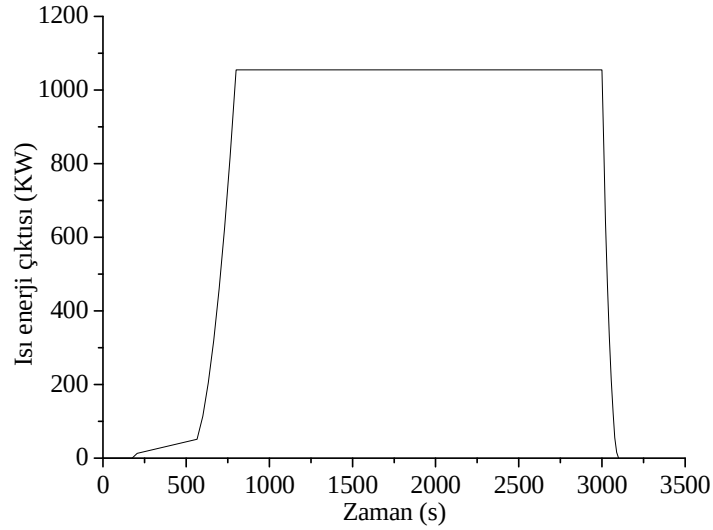
Binanın geçmişte elektrik aksamından kaynaklanan bir yangın tehlikesi geçirdiği Sabancı Center yetkililerince bildirilmiştir. Ayrıca elektrik aksamındaki hatalarını yangın olaylarının temel nedeni olduğu literatürden bilinmektedir [Holborn et. al., 2003]. Senaryoda yangının elektrik kaynaklı olabileceği varsayılarak elektrik panosunun bulunduğu serbest büro alanındaki kısımda başlayabileceği öngörülmektedir (Bkz. Şekil 3.10 (b)). Ayrıca yangının binanın hangi katında daha tehlikeli olabileceğini anlamak amacı ile farklı yükseklikleri temsil edecek biçimde 3 ayrı katta 6. 16. ve 26. katlarda, yangın modellemesi yapılmış, elde edilen bulgulardan boşaltım süresi üzerinde çok önemli bir etkisi olduğu bilinen yangının zararlı fiziksel çevre koşulları tespit edilerek 'buildingEXODUS' programına girdi olarak temin edilmiştir.



Şekil 3. 10. Yangının çıktığı varsayılan noktaların mimari plan ve kesitlerde gösterimi.

Binanın, yangın modellemesi CFAST Version 4.01 (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) yazılımı kullanılarak, sprinkler sistemin devrede olduğu ve olmadığı koşullar biçimde ayrı ayrı ele alınmaktadır [NIST, 2000]. Yazılım NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından geliştirilmiş ve yangın sırasında bir veya birkaç kompartımanda oluşabilecek sıcaklık değişimini ve duman hareketlerini modelleme kabiliyetine sahip bir yazılımdır. Yazılımın matematiksel kuramı, enerjinin korunumu denklemlerinin, değişen çevre koşullarını değerlendirecek biçimde, zamana bağlı diferansiyel değişim formunun dengesine dayanmaktadır. Enerjinin korunumu denklemlerinin diferansiyel formları sıcaklık, duman ve gaz konsantrasyonları için ayrı ayrı oluşturulmakta ve belli bir zaman ve hacim birimi içinde tüm değişkenlerin sabit değerde kalacağı varsayılmaktadır. Bahsi geçen hacim birimi kontrol hacmi (control volume) olarak adlandırılmakta ve mekanı iki ayrı kontrol hacmine bölerek (two-zone model) enerjinin korunumu dengesi kurulmaktadır. İki katmanlı modelleme (two-layer/two-zone approach) gerçek yangınlarda gözlemlenen sıcak gazların tavanda birikerek bir katman oluşturmaya ve birikimin artmasıyla çökerek altta kalan göreceli olarak temiz ve daha soğuk katmanı azaltması esasına dayandırılmaktadır. Gerçek durum ölçümlerine dayandırılarak her iki tabakanın da iç yapısının ve çevresel koşullarının homojen olduğu kabul edilmektedir.

Yangın simülasyonu için ofis-büro yangınlarında tipik olarak karşılanan orta şiddette bir yangın eğrisi ısı enerji zaman ilişkisi (heat release rate) tanımlanarak kullanılmaktadır [NIST, 2000]. Bu şiddetteki bir yangında ortama 1020KW enerji çıktısı Şekil 3.11’de verilen zaman ilişkisi ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.11. Yangın modelinde kullanılan ofis yangını orta şiddetli ısı enerji çıktısı.

CFAST 4.01 sprinkler sisteminin özelliklerini sprinkler başlıkları yerleştiriliş sıklığı ve soğutma kapasitesini değerlendirebilecek algoritmaya sahiptir. Böylece sistemin hasar görmesi ya da arıza yapması halinde yangın karakteristiğinin nasıl değişebileceği incelenmektedir. Bu amaçla iki ayrı senaryo tez kapsamı dahilinde değerlendirilmektedir;

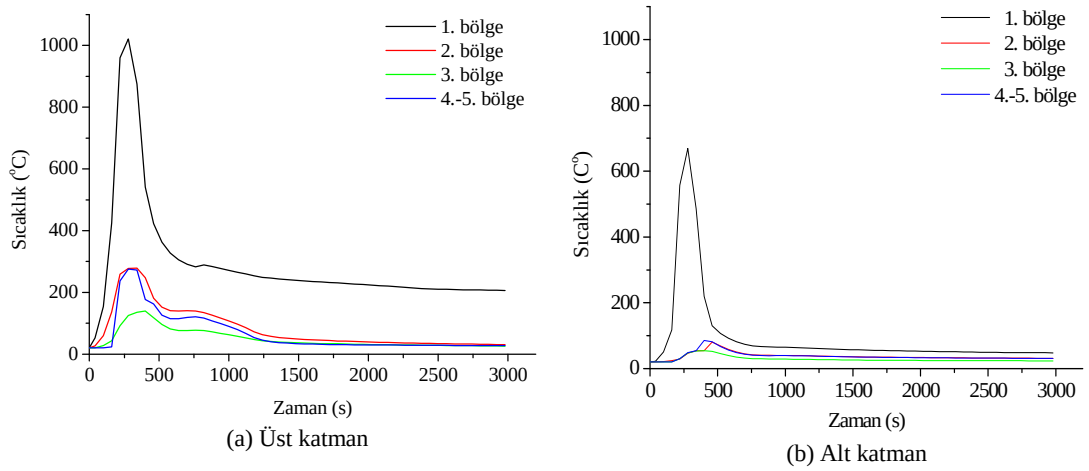
1. Sprinkler sisteminin devre dışı kaldığı durumu
2. Sprinkler sisteminin devrede olduğu durum

3.3.3.1. Sprinkler Sisteminin Devre Dışı Kaldığı Senaryo

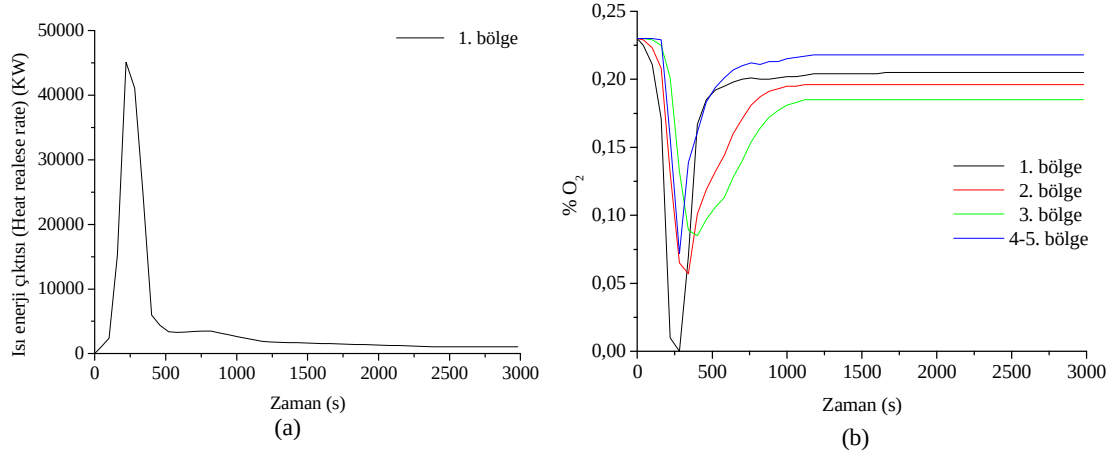
Şekil 3.10.(b)’de gösterilen Sabancı Center normal kat planı, insan hareketlerinin yoğunlaşabileceği ve ısı ile gaz transferinin gerçekleşeceği şekilde gösterilen 5 temel bölgeye ayrılarak CFAST 4.01 yazılımında modellenmektedir. Bölgeler arasındaki ısı transferinin temini kapı boşluklarından mümkün olabilmektedir. İnsan hareketleri nedeni ile bu kapıların açık kalacağı kabul edilmektedir. Ancak dışarıya doğrudan açılan tüm pencerelerin ‘flash over’ meydana

gelinceye kadar kapalı kalacağı değerlendirilmektedir. Tüm mobilya, yanıcı madde ve kaplamaların oluşturacağı yangın yükü ısı enerji ve tutuşma sıcaklıkları göz önüne alınarak modelde ele alınmaktadır.

Şekil 3.11’de ifade edilen ısı enerji çıktısı yangınının 3100s süreceği esasına dayanmaktadır. Bu süre dahilinde ‘flash over’ olmadığı takdirde binada pencerelerin açılmadığı ve böylece ortama ani oksijen girişinin olmayacağı varsayılmaktadır. CFAST yazılımı ile oluşturulan yangın analizinden elde edilen sıcaklık-zaman ilişkileri Şekil 3.12’te gösterilmektedir. Yangının başlamasıyla yangının başladığı 1. bölgede sıcaklık artmakta ve buna bağlı olarak diğer 4 kompartımanda da sıcaklıklar yükselmektedir. 175. saniyede oluşan ani parlama (flash over) ile 1. bölgede bulunan pencerelerin kırıldığı ve ortama ani oksijen girişi olacağı belirlenmektedir. Böylece 1. bölgede sıcaklık 280 saniyede 1020°C’ye kadar ulaşmaktadır. Aynı zamanda, 2. bölgede sıcaklık 277,4 °C, 3. bölgede 125,5 °C, ve merdiven kovalarında da (4. ve 5. bölgeler) 275 °C olarak tespit edilmektedir. Şekil 3.13. (b)’den görüldüğü üzere 280. saniyeden sonra neredeyse tamamen tükenen oksijen yüzdesi yine %20 seviyelerine çıkmaktadır. Yangın kompartımanında ısı enerji çıkışı flash over gerçekleşmeden artmakta 220 saniyede en yüksek değeri olan 45100KW’ta ulaşmaktadır.

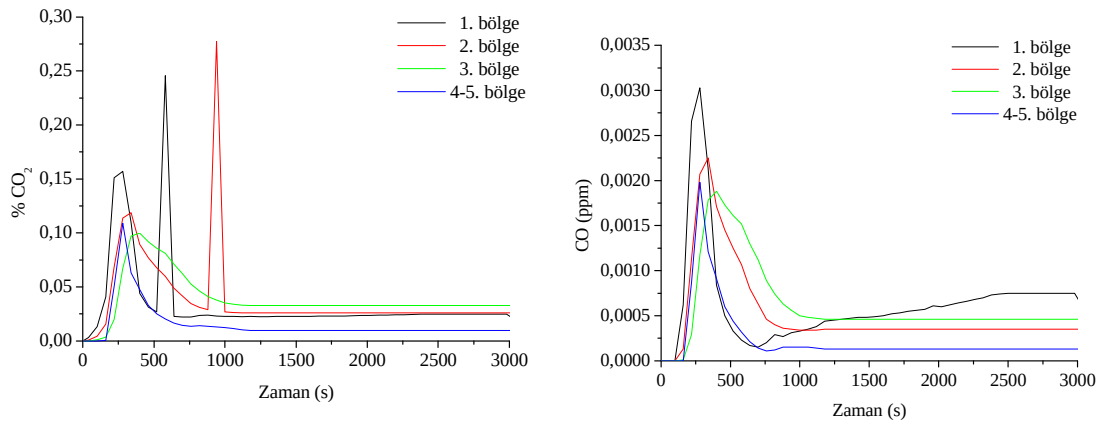


Şekil 3.12. Normal kat planında mekanlarda sıcaklık değişimi.



Şekil 3.13. Yangının çıktığı mekanda (1. bölge) ısı enerjisi ve oksijen yüzdesi değişimi.

Yanma ürünleri olarak ortaya çıkan CO₂ yüzdesinin 1. ve 2. bölgelerde % 20'nin üstüne çıktığı Şekil 3.14.(a)'dan anlaşılmaktadır. Özellikle 'flash over' oluşuktan sonra ani havalandırma sağlanması ile düşen bu yüzdelere ileri yanma sürecinden tekrar birikim eğilimi göstermektedir. Dikkat çekici ve kaygı verici diğer bir bulgu da karbon monoksit (CO) konsantrasyonunun özellikle yangının ilk evrelerinden itibaren hızlı bir artış göstererek, merdiven kovaları dahil tüm mekanlarda hareket kabiliyetini önemli ölçüde düşürmesidir (Bkz. Şekil 3.14.(b)).

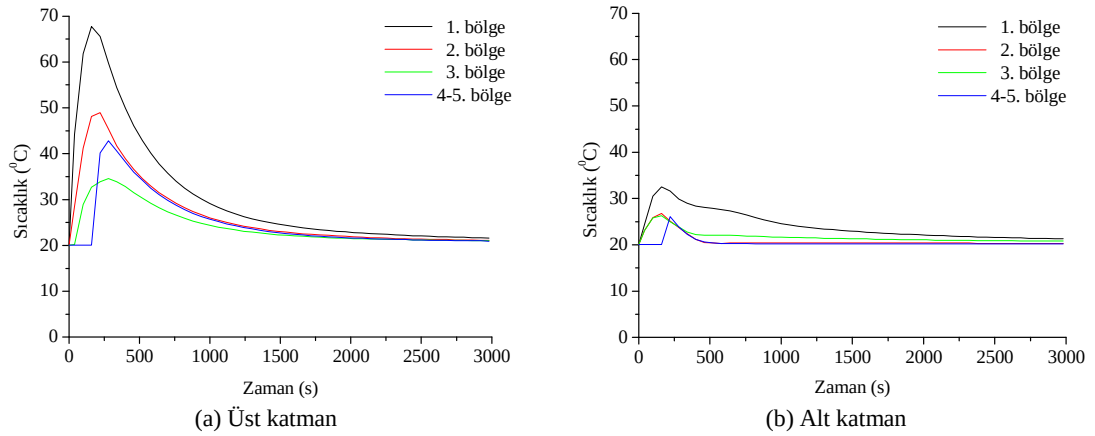


Şekil 3.14. Bölgelerdeki %CO ve CO₂ değişimi.

3.3.3.2. Sprinkler Sisteminin Devrede Olduğu Senaryo

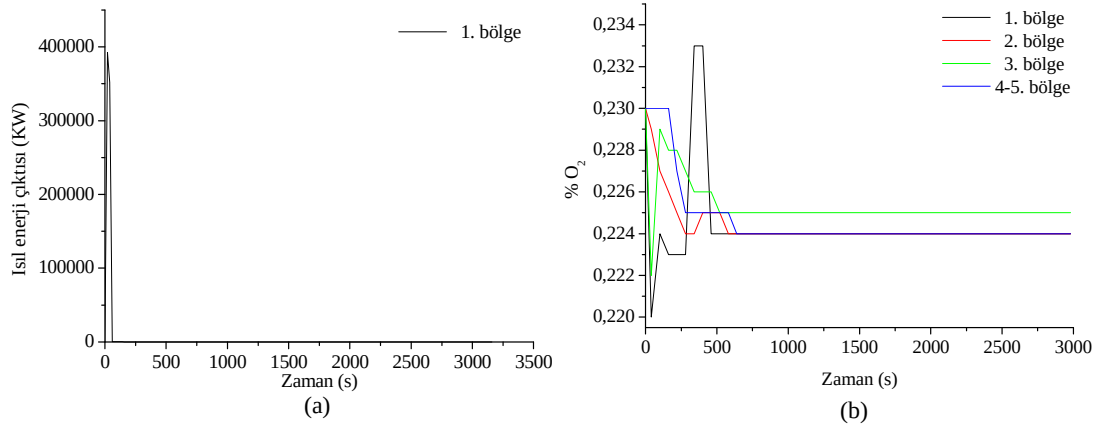
İkinci senaryoda Sabancı Center Kulesinde hali hazırda bulunan 9m^2 arayla konumlanmış ve 30°C 'nin hemen üstünde aktive olan sprinkler sisteminin etkisi değerlendirilmiştir.

Bu senaryoya ait yangın analizinden elde edilen sıcaklık-zaman ilişkileri Şekil 3.15'te sunulmaktadır. Yangının başladığı 1. bölgede sıcaklık 160 saniyede en yüksek sıcaklık sadece $67,7^\circ\text{C}$ olmaktadır. 2. ve 3. bölgelerdeki sıcaklıklar ise sırası ile en fazla $48,1^\circ\text{C}$, $32,7^\circ\text{C}$, olarak tahmin edilmektedir. Merdiven kovalarında ise, oda sıcaklığı değişmemektedir.

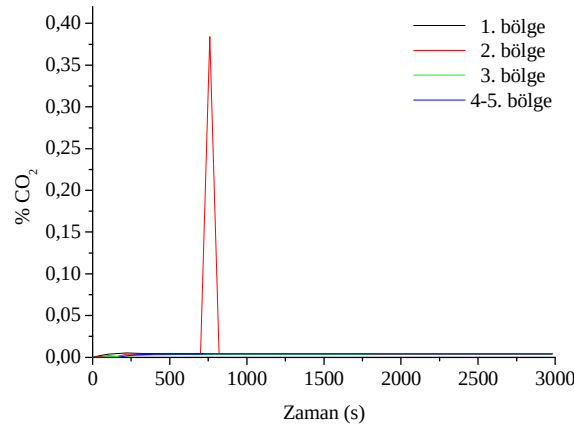


Şekil 3.15. Normal kat planında mekanlarda sıcaklık değişimi.

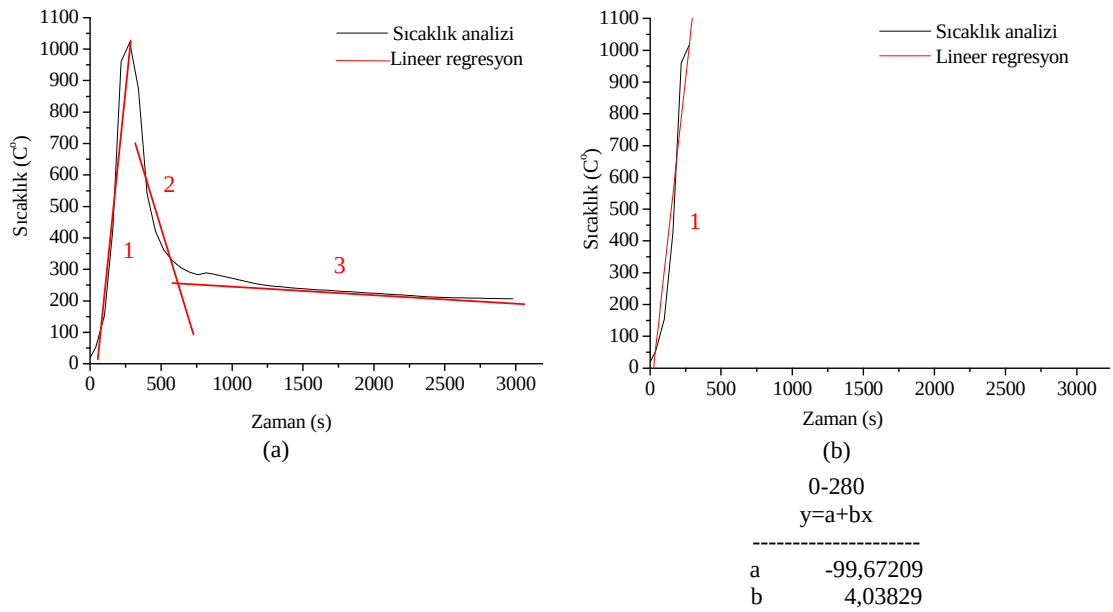
Şekil 3.16 (a)'da verilen ısı enerjisi çıktısı incelendiğinde benzer olumlu tablo burada da gözlemlenmektedir. Bu senaryo ani parlama 'flash over' tecrübesi yaşanmamaktadır. Böylece pencerelerin kırılarak mekana oksijen girişi gerçekleştirilmemektedir. Buna rağmen yangın mekanı dahil oksijen yüzdesindeki düşüş önemsiz düzeydedir. Şaşırtıcı olarak, 2. bölgedeki karbon monoksit yüzdesinde 750. saniyede hızlı bir konsantrasyon artışı gözlemlenmektedir. Bu artışın mekan yüksekliğinin diğer mekanlara göre daha alçak olması ve sıcaklık farkının oluşmaması nedeni ile meydana geldiği düşünülmektedir. Bu durum dışında ne karbon monoksit (CO) ne de karbon dioksit (CO_2) konsantrasyonları tehdit oluşturacak düzeylere ulaşmamaktadır.



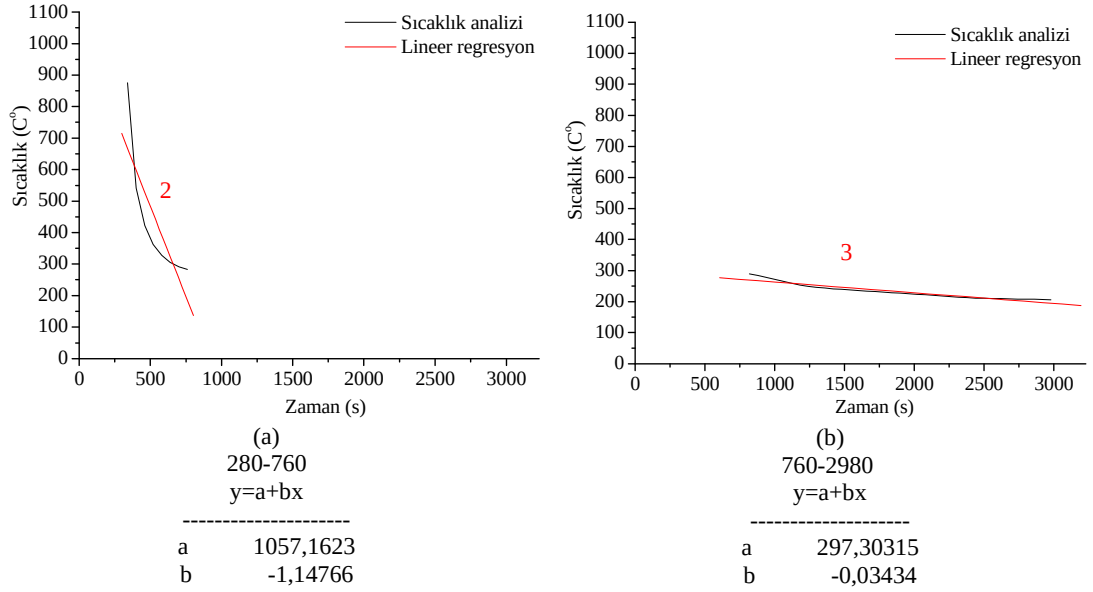
Şekil 3.16. a) Yangının çıktığı mekanda (1. Bölge) ısı enerjisi çıktısı b) Oksijen (O₂) yüzdesi değişimi.



Şekil 3.17. Bölgelerdeki karbon dioksit CO₂ değişimi.

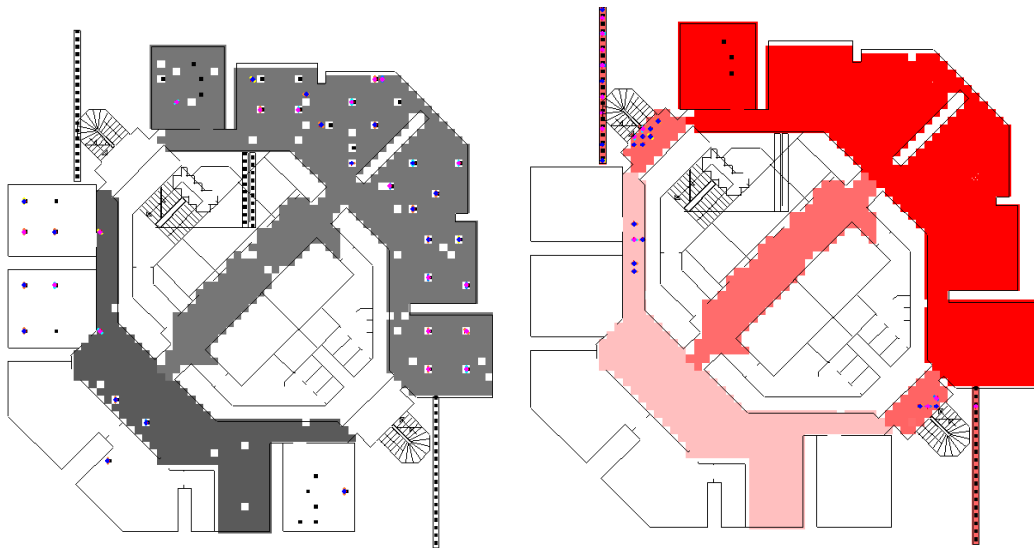


Şekil 3.18. a) 1. bölgede sıcaklık zaman ilişkisi b) 0-280s zaman aralığındaki sıcaklığın lineer bağıntı olarak ifade edilmesi.



Şekil 3.19. Sıcaklık zaman ilişkisinin 280-760s ve 760-2980s zaman aralığında lineer bağıntı olarak ifade edilmesi.

Her iki senaryodan elde edilen fiziksel çevre koşulları; ortamda oksijen azalmasının karbon dioksit, karbon monoksit konsantrasyonunun ve sıcaklığının zamana göre değişimleri, 'buildingEXODUS' yazılımında temin edilen lineer fonksiyonlarına dönüştürülerek boşaltım analizlerinde etkileri bütünüyle değerlendirilmektedir (Bkz. Şekil 3.18 ve 3.19). Belli bir zaman diliminde sıcaklık ve duman yoğunluğu ile ilgili fonksiyonların planda değişimleri renk farklılaşması ile 'buildingEXODUS' yazılımında ele alındığı Şekil 3.20'den görülebilir.



Şekil 3.20. Zamana bağlı değişimin lineer denklemleri ile 'buildingExodus' yazılımında renklerle ifadesi.

3.3.4. Senaryo

Şekil 3.10’da yeri gösterilen ve CFAST yazılımı ile de sıcaklık ve duman karakteristikleri belirlenen yangınlara ait boşaltım simülasyonları 6. 16. ve 26. katlarda, ‘buildingEXODUS’ yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir.

Bölüm 3.1’de ‘buildingEXODUS’ Yazılımının Teorik Yaklaşımı altında ayrıntılı olarak verilen kullanıcı davranış tercihleri Tablo 3.4-3.6’da özetlenmektedir. Tüm analizler de aynı koşullar göz önüne alınarak bina kullanıcıları değerlendirilmiştir.

Tablo 3.4. Modellemede kullanılan hareket etme opsiyonları ve tercihler.

Modellemede kullanılan tercihler	Tercih
Yön değiştirebilme kabiliyeti	Açık
Sabır süresinin olmaması	Kapalı
Ani tepki	Kapalı
Engelleri sıçrayabilme	Açık
Merdiven basamağının başka kullanıcı ile paylaşımı	Açık

Tablo 3.5. Modellemede kullanılan kullanıcı çıkış opsiyonları ve tercihler.

Kullanıcı çıkış bilgisi ile ilgili opsiyonlar	Tercih
Kişinin çıkış tercihi değerlendirmesi	Açık
Hedef acil çıkış kapısına yönlendirme	Açık (en yakın kapı)
Kişinin belli bir iş önceliğinin tanımlanması	Kapalı

Tablo 3.6. Modellemede kullanılan dumanda hareket tercihleri.

Tehlike opsiyonları	Tercih
Dumanda emekleme	Açık
Dumanda yalpalama	Açık
Dumanla karşılaştığında yön değiştirme	Açık
Yön değiştirme de kullanılan istatistiksel oran	Ortalama değer (Bryan ve Wood)
Duman hareketinde cinsiyet farkı gözetilmesi	Açık

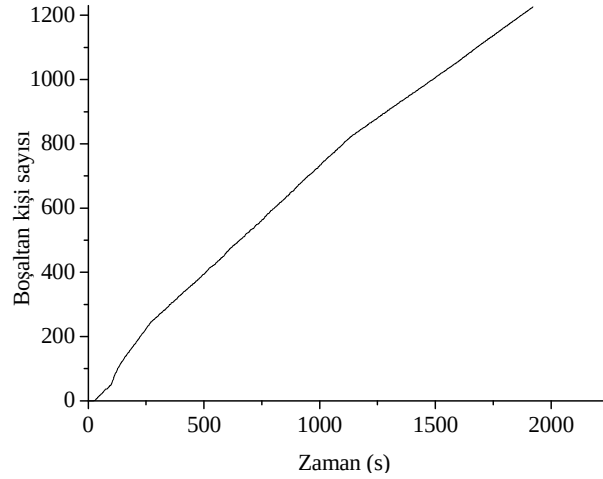
4. PARAMETRİK ÇALIŞMA BULGULARI VE ÖNERİLER

4.1. Parametrik Çalışmalar

‘buildingEXODUS’ yazılımı kullanılarak, önce yalın boşaltım, sonra da üç farklı katta sprinklerli ve sprinklersiz durum için boşaltım analizleri yürütülmüştür. Yazılımın probabilistik çalıştığı göz önüne alınarak, her analiz en az 2 kez tekrarlanmıştır. Her sonuç aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Temel olarak parametrik çalışmalar yangının çıktığı katın ve sprinkler tesisatının varlığının boşaltım süresi ve can güvenliği üzerindeki etkilerini incelemek maksadıyla gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Yalın Boşaltım

Hiçbir çevresel tehlikenin kullanıcıyı tehdit etmediği varsayılarak yürütülen analizde 1226 kullanıcının 31dak. 56s-32dak. arasında binayı terk edeceği tahmin edilmektedir. Yalın boşaltım, boşaltım tatbikatlarından elde edilecek bulgularla karşılaştırılabilir. Ancak boşaltım tatbikatında video çekimlerinin ara ara durdurulması sebebi ile bu karşılaştırma eşleştirilememektedir. Doğrulama çalışması olarak, Sabancı Center yetkililerinin tüm binayı içeren bir boşaltım tatbikatı yaparak, çıkış kapıları önüne yerleştirecekleri birer kamera ile, Şekil 4.1’de teorik olarak elde edilen bulguları karşılaştırmaları mümkün olabilecektir.



Şekil 4.1. Yalın boşaltım koşullarında binayı boşaltan kişi sayısı.

4.1.2. Yangın Senaryosu ile Boşaltım

Sprinkler sisteminin başarılı bir aktif yangın önlemi olduğu bilinmektedir. Ancak sistemin periyodik bakım gerektirdiği ve zaman içerisinde aksaklık gösterebileceği göz ardı edilmemelidir. Özellikle terörist saldırı ve sabotajların neticesinde devre dışı kalabilmesi ihtimali asla unutulmamalıdır. İncelenen sprinkler sistemin devre dışı kalma senaryosu oldukça gerçekçi bir ihtimal olarak yüksek binalarda değerlendirilmelidir. Modellerde sadece yangın katında sprinkler sisteminin çalışmaması ihtimali değerlendirildiğinde ve diğer katlarda çalışıyor olmasının sonuçlar üzerinde bir iyileştirme etkisi yaratmayacağı hatırlatılması gereklidir.

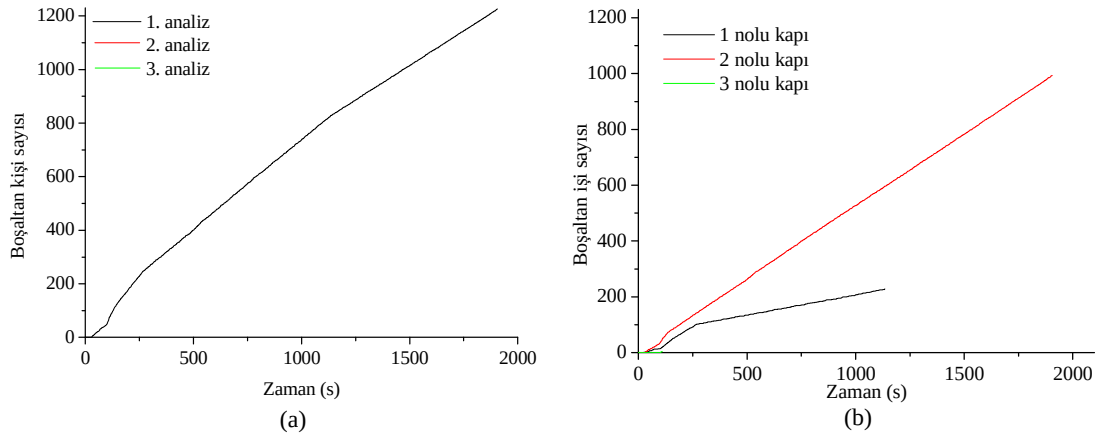
Özellikle terörist saldırıların giriş katları ve üzerindeki birkaç katı etkilediği ve ciddi yangınlara yol açabileceği ihtimali özellikle zemine yakın 6. kat civarında yangın çıkması senaryosuna yakın sonuçlar vermesi beklenmelidir. Küçük, hafif hava taşıtlarının çarpması ile oluşacak saldırı ve kazaların yangın etkisi ise kat yüksekliğine göre 16. ve 26. kat yangınları ile benzer özellikler gösterebilecektir. Her üç olasılıkla ilgili senaryo sonuçları sprinkler tesisatının devreye girmesi ya da girmemesi ihtimalleri için ayrı ayrı araştırılmaktadır.

4.1.2.1. Sprinkler Sistemi Devrede İken Boşaltım Senaryosu

İyimser koşulları temsil eden bu analizler 3 farklı kat yangını için gerçekleştirilmiş, bulguları aşağıda sunulmuştur.

4.1.2.1.1. 6. Kat Yangını

6. katta sprinkler sisteminin devrede olduğu varsayılarak ‘buildingEXODUS’ yazılımı ile 3 kez analizi gerçekleştirilen senaryo sonucunda boşaltım süresinin 31dak. 45s ile 32dak. arasında değiştiği belirlenmektedir (Bkz. Şekil 4.2.(a)). Bu süre dahilinde tüm kullanıcıların binayı güvenli tahliye ettiği anlaşılmaktadır. Boşaltım süresinin yalın boşaltım süreleri ile aynı olduğu görülmektedir.

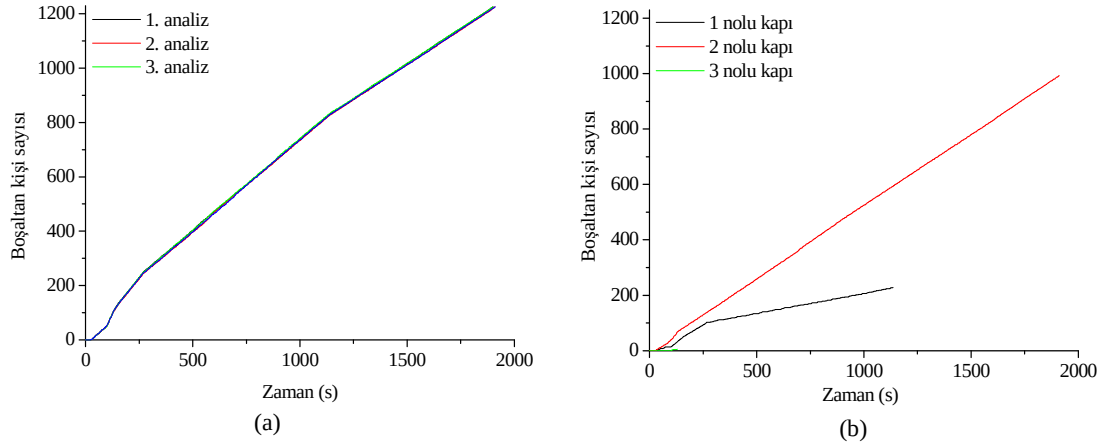


Şekil 4.2. a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Çıkış kapılarından çıkan kişi sayısı.

Boşaltım sürecinde, birinci çıkış kapısından 228, ikinci çıkış kapısından 994 ve üçüncü çıkış kapısından 4 kişinin binayı terk ettiği Şekil 4.2.(b)’den tespit edilmektedir. Özellikle 2. çıkış kapısının yoğunluklu olarak kullanıldığı dikkat çekmektedir (Bkz. Şekil 4.2.(b)).

4.1.2.1.2. 16. Kat Yangını

16. kat yangınında boşaltım süresinin 31dak. 39s ile 31dak. 51s arasında değişeceği tahmin edilmektedir (Bkz.Şekil 4.3.(a)).

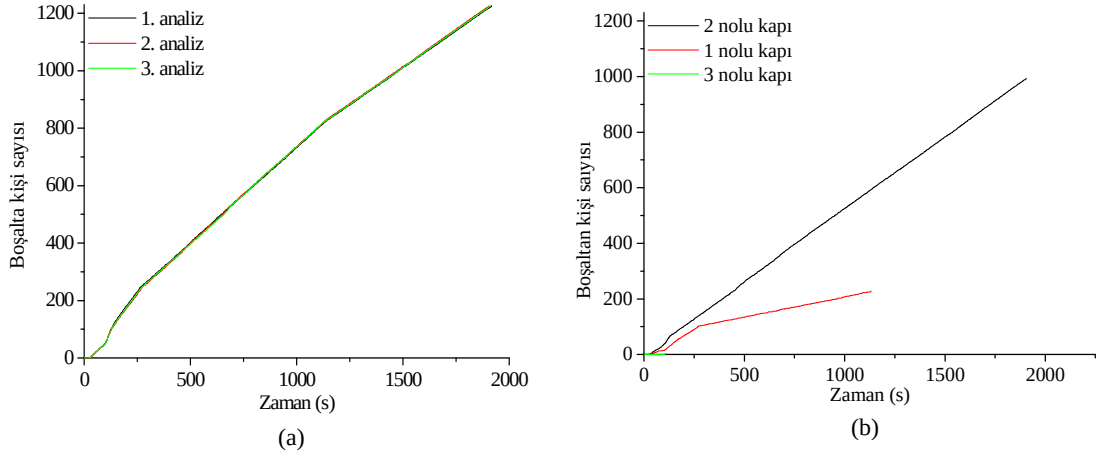


Şekil 4.3. a) Binayı boşaltan kişi sayısı. b) Çıkış kapılarından akış.

Tercih edilen çıkış kapıları incelendiğinde 1 nolu çıkış kapısından 228, ikinci çıkış kapısından 993 kişi, üçüncü çıkış kapısından da 5 kişinin çıktığı anlaşılmaktadır. 6. kat yangınına göre küçük farklılıklar bulunsa da yazılımın probabilistik yaklaşımının doğal bir sonucu olarak dikkate alınmaması gerektiği belirtilmelidir.

4.1.2.1.3. 26. Kat Yangını

Benzer sonuçlar Şekil 4.4'te gösterilen 26. kat yangınından da elde edilmektedir. Kullanıcıların binayı boşaltma süreleri 31dak. 51s ile 31dak. 57s arasında değişmektedir. Çıkış kapısı tercihleri ise yine 994 kişi ile 2 nolu çıkış kapısına yoğunlaşmaktadır. 3 nolu çıkış kapısından yine 5 kişinin çıkacağı tahmin edilmektedir. Özetle, sprinkler sisteminin devrede olmaması durumunda farklı kat yangınları için binanın boşaltım karakteristikleri birbirleriyle ve yalın durum koşulları ile tamamen benzer özellikler göstermekte, yangın tamamen bertaraf edilmektedir.



Şekil 4.4. a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Çıkış kapılarından akış.

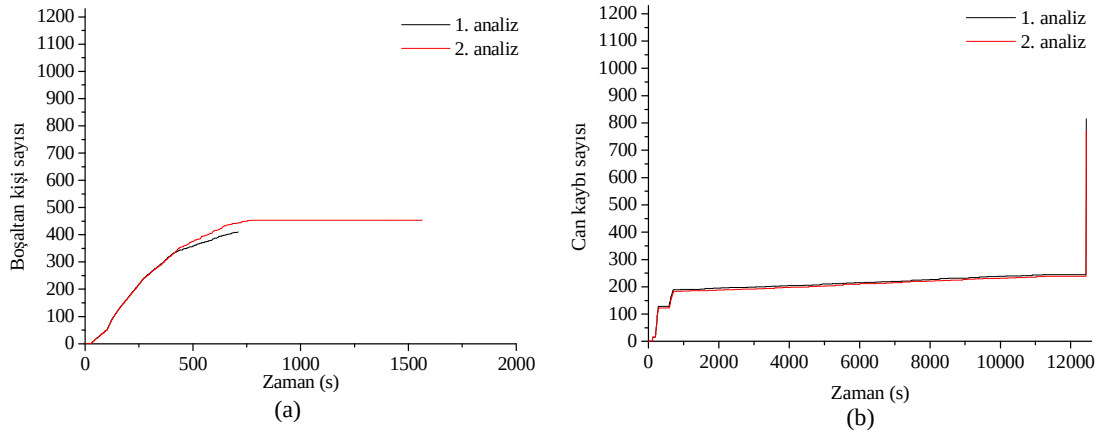
4.1.2.2. Sprinkler Sistemi Devre Dışı İken Boşaltım Senaryosu

4.1.2.2.1. 6. Kat Yangını

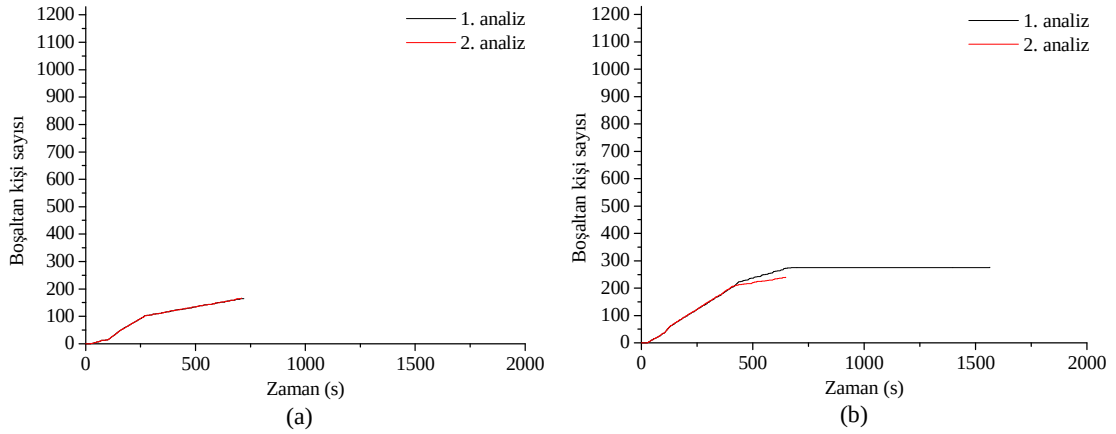
Sprinkler sistemin devre dışı kalması halinde kullanıcıların yaklaşık olarak %66'sının hayatını kaybettiği ve kalan 411-454 kişinin binayı 11dak. 48s ile 26dak. 31s arasında boşaltabileceği belirlenmektedir (Bkz. Şekil 4.5 (a) ve (b)). Analiz sürelerinin uzunluğu ve bulgulardaki geniş dağılım göz önüne alındığında kullanıcıların tercihlerinin (olasılıklar) sonuçları önemli ölçüde etkileyeceği çıkış gerçekleştiren kişi sayısının büyük farklılıklar gösterebilmesinden yorumlanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı sadece 2 analiz tekrarı yapılabilmektedir. Diğer analizlerin sonuca ulaşmada zorlandıkları ve boşaltımı makul sürelerde tamamlayamadıkları için değerlendirmeye alınmamışlardır. Hayatını kaybedenler incelendiğinde iki çarpıcı sonuca ulaşılmaktadır; kadın kullanıcıların %63'ü erkek kullanıcıların ise %69'u hayatını kaybetmektedir. Hayatını yitirenlerinden %76'sının 2 nolu çıkış kapısını tercih edenler olduğu belirlenmektedir. 1 nolu çıkış kapısını tercih edenler arasında ise can kaybı %27 civarında kalmaktadır.

Sonuçlar tüm nüfus dahilinde değerlendirildiğinde ise, kullanıcıların %62'sinin 2 nolu çıkış kapısını tercih ederek öldüğü, %5'inin ise 1 nolu çıkış kapısını tercih ederek öldüğü anlaşılmaktadır. Şekil 4.6 (a) ve (b) incelendiğinde 1 nolu çıkış kapıdan 150, 2 nolu kapıdan 300 kişinin binayı terk etmeyi tercih ettiği, dolayısı ile 2 nolu kapıda büyük bir yığılma gerçekleştiği (kullanıcıların %81'i tercih etmektedir.),

ve hareket hızını düşürerek zararlı etkenlere maruz kalınmayı arttırdığı tespit edilmektedir. Kullanıcıların Zararlı gaz etkisi ile duman içine giremedikleri, girdiklerinde yüksek dozlara maruz kaldıkları yangın katındaki merdiven kovası çevresel etkilerinin incelenmesinden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Can kaybı sayısı.

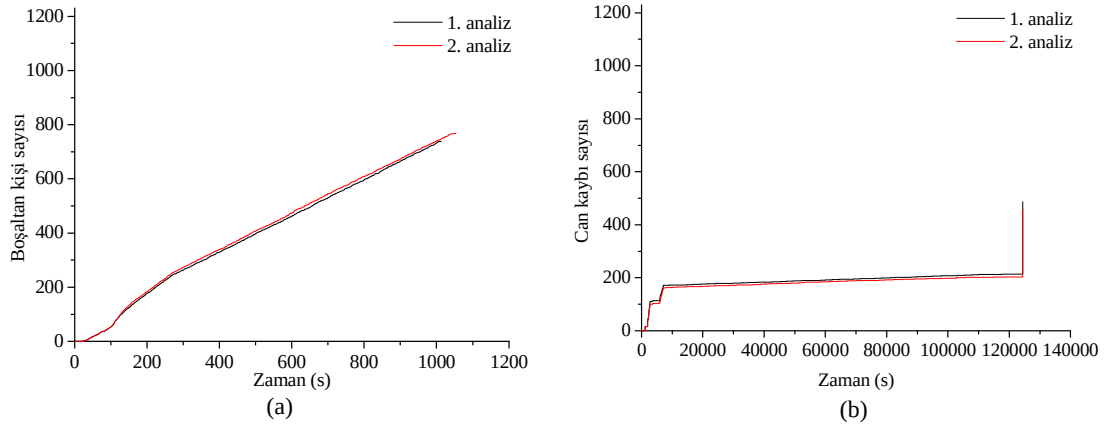


Şekil 4.6. a) 1 nolu çıkış kapısından binayı boşaltan kişi sayısı b) 2 nolu çıkış kapısından binayı boşaltan kişi sayısı.

4.1.2.2.2. 16. Kat Yangını

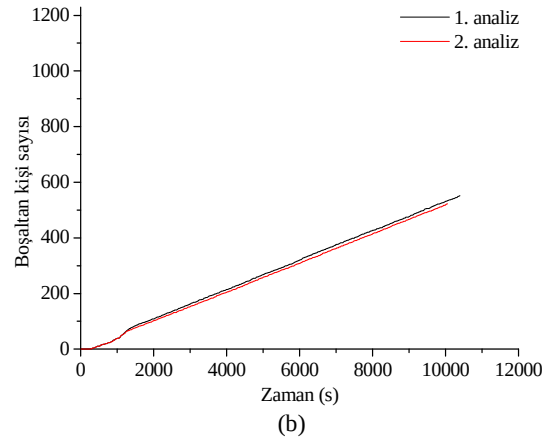
26. katın yangın senaryosu daha iyimser sonuçlar vermekle birlikte, 458 ile 487 kişi arasında can kaybı olabileceği tahmin edilmektedir (Bkz. Şekil 4.7.(b)). Binayı terk eden sayısı bir önceki senaryoya göre %50 artış göstererek 739-768 kişinin 17dak. 15 saniyede bina dışına ulaşacağı öngörülmektedir. Şekil 4.8 incelendiğinde bu senaryo içinde 2 nolu çıkış kapısını tercih eden sayısının (552 kişi) 1 nolu kapıya

oranla (211 kişi) oldukça yüksek olduğu, ve bu çıkışa yığılmanın yine fazla olduğu görülmektedir. Kullanıcılar tercih ettikleri çıkış kapılara göre değerlendirildiğinde, 2 nolu çıkış kapısını tercih edenlerin %45'inin, 1 nolu çıkış kapısını tercih edenlerin ise %7.5'nin can kaybı yaşadığı anlaşılmaktadır. Tüm kullanıcıların %1.4'ü 1 nolu çıkış kapısını tercih ederek hayatını kaybederken, %36'sının 2 nolu çıkış kapısını tercih ederek öldükleri anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7. a) Binayı boşaltan kişi sayısı b) Can kaybı sayısı.

B
(a)



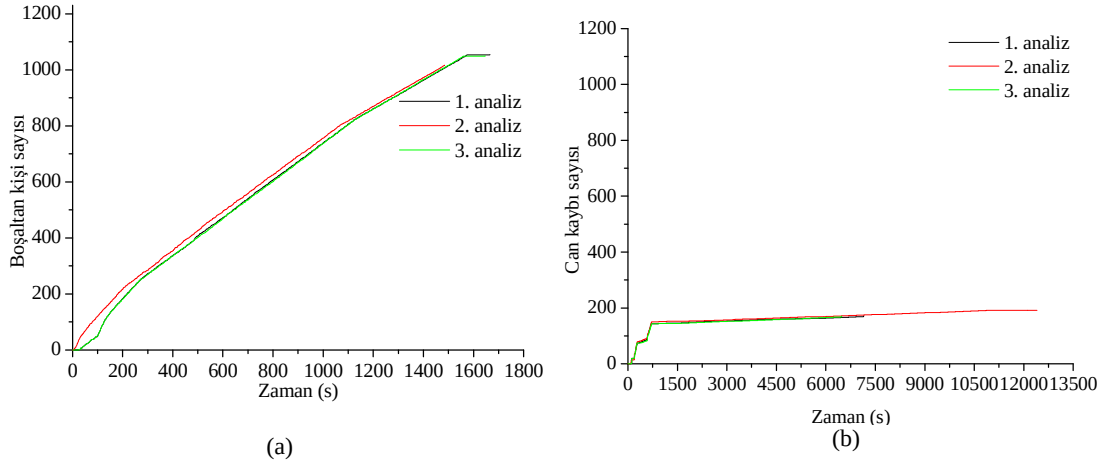
Şekil 4.8. a) Binayı 1 nolu çıkış kapısını kullanarak binayı boşaltan kişi sayısı.

b) Binayı 2 nolu çıkış kapısını kullanarak binayı boşaltan kişi sayısı.

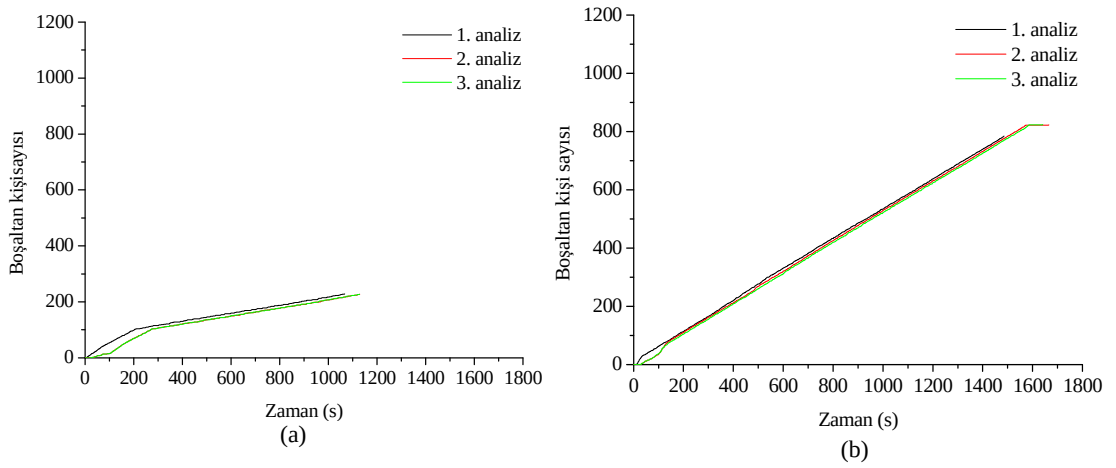
4.1.2.2.3. 26. Kat Yangını

26. kat yangın senaryosunda can kayıplarının daha da azaldığı ve can kayıplarının 172-209 kişi seviyelerine düştüğü Şekil 4.9 (b)'den anlaşılmaktadır. Boşaltım gerçekleştiren kişi sayısı 1017 ile 1054 kişi olarak belirlenirken, gerekli

olan boşaltım süresi 24dak. 44s-27dak 44s arasında gerçekleşmektedir (Bkz. Şekil 4.9 (a)). Şekil 4.10'dan görüldüğü üzere 2 nolu çıkışı kullanarak binayı terk eden kişi sayısı (779) 1 nolu çıkışı kullanarak terk edenlerden (228) yaklaşık 3 kat fazladır. 1 nolu çıkışta hiçbir ölüm olayı yaşanmazken, 2 nolu çıkışta 209 kişinin (%17) hayatını yitireceği tahmin edilmektedir. Bu durum hala yüksek oranda kullanıcının (%81) 2 nolu çıkışı tercih etmesiyle alakalıdır.



Şekil 4.9. a) Binayı boşaltan kişi sayısı. b) Can kaybı sayısı.



Şekil 4.10. a) Binayı 1 nolu çıkış kapısını kullanarak binayı boşaltan kişi sayısı.
b) Binayı 2 nolu çıkış kapısını kullanarak binayı boşaltan kişi sayısı.

4.2. Parametrik Çalışma Bulgularının Değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen ayrıntılı modelleme ve senaryoların neticesinde aşağıda verilen temel sonuçlara varılmaktadır:

1. Bina sprinkler sisteminin kusursuz olarak işlerliğinin temininin vazgeçilmez hayati bir unsur olduğu anlaşılmaktadır. Sprinkler sisteminin çalışmadığı durumlarda ise, merdiven kovalarının duman ve sıcaklıktan önemli ölçüde etkileneceği gözlenmektedir. Bu durum pasif yangın önlemlerinden binadaki duman yalıtımının, hareketinin ve tahliyesinin yeterince irdelenmediğini göstermektedir.
2. Kullanıcıların çıkış tercihlerinin dengeli olmadığı ve özellikle 2 nolu çıkış kapısında yığılma yaşandığı sonucuna varılmaktadır. Kullanıcıların %81'inin 2 nolu çıkış kapısını tercih etmesi sonucu, sprinkler sisteminin devrede dışı kaldığı durumlarda, 2 nolu kapı çıkış rotasında ölüm olaylarının oldukça fazla olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle önemli bir kaçış yolu olabilecek asansör çekirdeğindeki 3. çıkış alternatifi (ana merdiven) yangın geçirimsiz hale dönüştürülerek kullanıma açılması faydalı olacaktır.
3. Yangının ya da terörist bir sabotajın alt katlarda gerçekleşmesi ve sprinkler sisteminin görevini yerine getirmemesi halinde, ciddi sayıda ölümün özellikle 2 nolu kapı çıkış rotasındaki yavaş ilerleme ve merdiven kovalarının yangın katında kaçışı sekteye uğratması ile yaşanacağı sonucuna varılmaktadır.
4. 3 nolu sonuçta verilen koşulların üst katlarda gerçekleştirilmesi ile can kaybının giderek azalacağı, ancak yine de %10-30 arası bir kaybın yaşanabileceği öngörülmektedir. Yangının üst katlarda oluşması ile düşen can kaybı, 2 nolu çıkış kapısı yolunda yaşanan sıkışma nedeni ile oluşan gecikmenin yangın katını geçtikten sonra etkili olmamasına bağlanmaktadır. Yangın katının göreceli olarak, daha az kişi tarafından, daha hızlı geçilebilmesi ile can kaybı azalmaktadır.

5. Yangın pasif önlemlerinden bina malzemesi seçiminin irdelenmediği ahşap kaplamalı dekorasyon öğelerinin kullanılmasından anlaşılmaktadır. Bu uygulama, yangın yükünü arttırarak ısı enerjisi çıkısını arttıracağı CFAST simülasyonlarından anlaşılmaktadır. Bu durum, kaçış hızını, sprinkler sisteminin devre dışı kalması halinde, önemli ölçüde azaltmaktadır.
6. Kullanılan halı ve diğer eşyaların yanma ürünü zehirli gaz çıkarmayacak biçimde seçilmesi bir pasif yangın tedbiridir. Sprinklersiz yanmada bu yanma ürünlerinin oluştuğu ve kaçış rotalarını etkilediği belirlenmektedir.
7. Asansör çekirdeğine açılan kapıların da yangın ve duman geçirimsiz olarak düzenlenmeleri birbirinden ağımsız ofis alanlarının birinde yangın oluşması halinde diğerlerinin etkilenmesini önemli ölçüde azaltabileceği simülasyon sonuçlarından belirlenmektedir.
8. Sprinkler sistem devrede olduğu sürece, yangının çıkış yeri ya da çıkış kapısı tercihi boşaltım süresini ya da can güvenliğini etkilemediği ve sonuçların yalın boşaltım sonuçları ile aynı olduğu tespit edilmektedir.

4.3. Öneriler

4.3.1. Tefrişle İlgili Öneriler

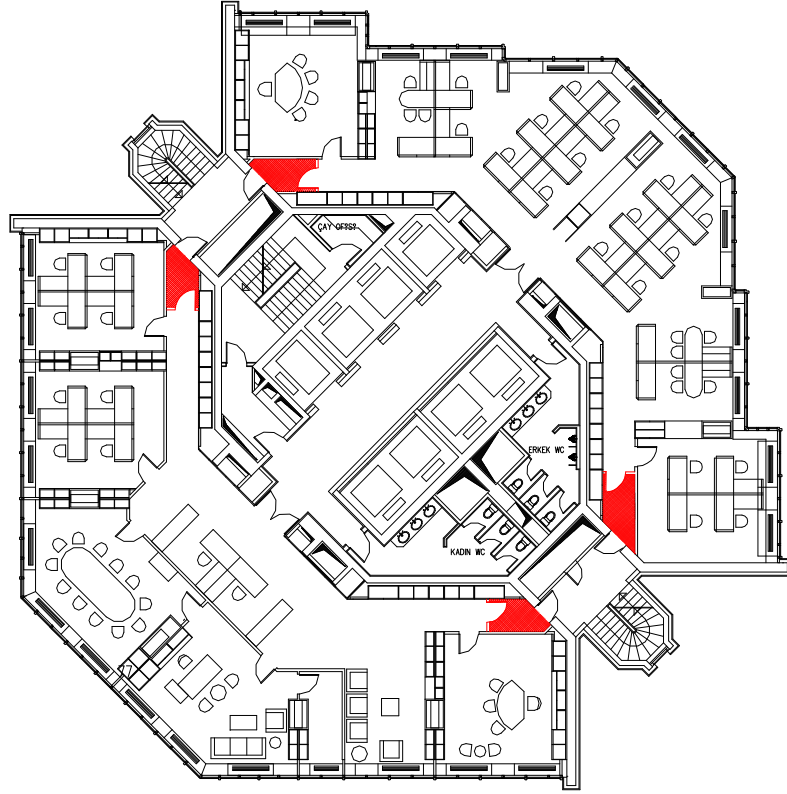
Bina tefrişinin yangın kaçışı açısından herhangi bir soruna neden olmadığı yapılan modelleme sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ancak tam yanmanın gerçekleşmesi yaşaması halinde diğer dekorasyon malzemeleri ile birlikte mobilyaların zehirleyici gaz ve yanma ürünü vermeyecek biçimde seçilmeleri gerekmektedir. Mevcut mobilya ve dekorasyon ilgili koşulları yerine getirememektedir.

4.3.2. Kullanıcı ile İlgili Öneriler

Kullanıcıların %78'inin tepki süresinin 95s'nin üzerinde oluşu, boşaltım süresini uzattığı ve özellikle sprinkler tertibatının tahribatı halinde, ölüm sayısını arttırdığı analiz sonuçlardan anlaşılmaktadır. Kullanıcıların tepki süresinin kısalması can kayıplarını önlemede son derece etkili olacaktır. Tepki süresini kısaltmak için yangın eğitimlerinin daha zorlayıcı ve empoze edici olması sağlanmalıdır. Ayrıca sesli anonsu takip eden elektrik kesintisinin daha hızlı yapılması, işini bırakmak istemeyenleri caydırması bakımından faydalı olacaktır. Kullanıcılarla ilgili diğer bir öneri, tek bir çıkış kapısına yönelmelerini engelleyici tedbirlerin alınmasıdır. Bu sorunun çözümü, herkesin belli bir çıkışa yangın eğitimi ile dengeli olarak paylaştırılmaları ile mümkün olabilecektir.

4.3.3. Bina Plan Bölüntüleri ile İlgili Öneriler

Acil çıkış kapılarının önünde korumalı lobi yapılması ya da merdiven kovalarının basınçlandırma sistemi kurulması ile, dumanın kaçış merdivenine sirayeti mutlaka önlenmelidir. En basit pasif önlem, kaçış merdivenlerine açılan kapıların duman geçirimsiz hale dönüştürülmesi ve merdiven kovalarına açılan kapılarının önüne Şekil 4.11'de görüldüğü gibi, otomatik kapı kapanma mekanizması olan korumalı lobilerin eklenmesidir. Ana merdiven kovalarının da basınçlandırma sistemi yada korumalı lobi görevi görecektir. ön hacimlerin tekrar düzenlenerek ve yangın kapıları ile donatılarak acil çıkış için kullanımları önerilmektedir.



Şekil 4.11. Sabancı Center için korumalı lobi önerisi.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

5.1. Genel Değerlendirme

‘buildingEXODUS’ yazılımı boşaltım analizi yapabilen en kapsamlı yazılımlardan biridir. Ancak yazılımın doğru sonuçlar vermesi için yan uzmanlık alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu uzmanlık alanları, yangın termodinamiği, toksikoloji, malzeme termofiziği, insan psikolojisi ve fizyolojisi ve istatistiksel olasılık biliminin belli konularına hakimiyeti içermektedir.

Bu uzmanlık alanlarını tümüyle değerlendirebilen ‘buildingEXODUS’ yazılımının bu konuda muadili olan diğer yazılımlara üstünlüğü nedeni ile, yüksek binalarda boşaltım süresini tahminde çok başarılıdır. Yüksek binaların boşaltım özellikleri, can güvenliği üzerinde son derece önemli olabildikleri anlaşılmaktadır. Bu yüzden, bu tür binalarda ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Tezde tasvir edilen yöntem ve modelleme teknikleri, bu konudaki araştırma sistematğine temel oluşturma iddiasındadır.

5.2. Özel Değerlendirme

Sabancı Center tasarlandığı şekliyle bina boşaltımında herhangi bir problem yaşamayacağı belirlenmiştir. Bununla birlikte tüm yangın önlemlerinin aktif önlemlere bağlandığı ve pasif önlemlerle ilgili tedbirlerin fazlaca irdelenmediği gözlenmiştir. Yaşanacak mekanik bir problemin (sprinkler sistemin arızalanması gibi) ciddi can kayıplarına yol açabileceği anlaşılmıştır. Maliyeti düşük, işletme ve bakım maliyeti yüksek, arızalanma riski bulunan aktif önlemlerin yerine, basit ve ucuz pasif yöntemlerle benzer sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Yangın yükünün azaltılması, duman çıkarmaz malzeme seçimi ve duman hareketlerinin tahmini il doğal havalandırma imkanlarının temini bunların arasında gösterilebilir. Can kayıplarının aktif önlemlere bağlı olarak önlenmesi halinde ise tüm ekipmanın periyodik bakımlarının titizlikle yapılması gerektiği açıktır.

Personel yangın eğitim ve tatbikatlarının daha sık yapılması ve kullanıcıların konunun ciddiyetini idrak edecek biçimde motive edilmeleri hayati önem taşımaktadır. Özellikle çıkış rotalarının önceden kesin ve dengeli olarak kullanıcılar arasında paylaştırılması, ve tatbikatlarda bunun kontrolü çalışma sonuçlarına bağlı olarak gerekli görülmektedir.

5.3. Gelecekteki Çalışmalar

Çalışmanın kullanıcı profilini daha net olarak belirlenmesini sağlayacak daha geniş örneklem kümeleri ile tekrarlanması, ya da daha iyisi, her bir kullanıcının ayrı ayrı modellenmesi planlanmaktadır.

Toksikoloji ve duman içinde hareketlerle ilgili deneysel ve gözlemsel bulguların ‘buildingEXODUS’ algoritmasına eklenmesi konusunda çalışmaların takip edilmesi amaçlanmaktadır.

İstanbul’daki diğer yüksek binalarda da benzer çalışmalar yapmak sureti ile, binaların kaçış karakteristikleri ile ilgili mimari öngörülerin elde edilmesi ilginç bir araştırma alanı oluşturabilecektir.

Bina boşaltım süresi hesaplamalarının katı yaptırımlar yerine, bu tür yazılımlar kullanmak suretiyle irdelenmesi ve benzeri yaklaşımların yangın yönetmeliklerinde alternatif bir yöntem olarak kabul edilmesi yolunda çalışmalar hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

1. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES and DISEASE REGISTRY, Toxicological Profile for Cyanide, USA, 1-291, 1997.
2. AKÇAY Ş. ve EYÜBOĞLU F.Ö., Yangında Duman Zehirlenmeleri ve Termal Solunum Yolları Hasarı, II. Yangın Sempozyumu ve Sergisi (Uluslar Arası Katılımlı), Ankara, 179-193, 2003.
3. ASHE R., SHIELDS T. J., Analysis and Modelling of the Unannounced Evacuation of a Large Retail Store, Fire and Materials, 23, 333-336, 1999.
4. BBC NEWS, History of Skyscraper Incidents, Thursday, 18 April, 2002, UK, news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/1938152.stm
5. BRYAN J., Behavioural Response to Fire and Smoke, the SFPE, Handbook of Fire Protection Engineering (2nd Edition), National Fire Protection Association, Quincy, MA, 3, 241-262, 1995.
6. BRYAN J., Human Behaviour in Fire, Fire Protection Engineering, 16, 4-16, 2002.
7. BSI BS 5588, Fire Precautions in the Design and Construction of Buildings: Part 3, 1983.
8. BURGESS I., Fire Resistance of Framed Buildings, Physics Education, 37/5, 390-399, 2002.
9. ÇAĞDAŞ G., SAĞLAMER G., A Simulation Model to Predict the Emptying Times of Buildings, Architectural Science Review, 38, 9-19, 1995.
10. CHOW W., LI, J., Possibility of Using a Time Constant in Fire Codes for Smoke Management in Atria, Journal of Fire Sciences, 18/2, 130-150, 2000.

11. CHOW W.K., GIGI C., LUI H., Numerical Studies on Evacuation Design in Karaoke, Building and Environment, 37, 285-294, 2002.
12. CNN Web Sayfası, <http://www.cnn.com/2002/WORLD/europe/04/18/italy.chronology.html>, 2002
13. CNN Web Sayfası, <http://www.cnn.com/US/OKC/bombing.html>, 1996
14. CNN Web Sayfası, www.cnn.com/2003/US/Midwest/10/18/chicago.fire.ap, 2003.
15. CORBIS Web Sitesi, <http://pro.corbis.com/search/searchFrame.asp>, 2003.
16. COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT, Fire Safety in Tall Buildings, Committee, McGraw-Hill, USA, 127-150, 1992.
17. DONEGAN H.A, MCMASTER T.B., Formal Aspects of Egress Complexity, Mathematical and Computer Modelling, 35, 119-128, 2002.
18. ERZENE I.Ş., İstanbul Yerleşim Alanı İçinde Görülen Arazi Kullanım Kararları ve Yüksek Yapılarla İlgili Alan Tahsislerinin Değerlendirilmesi, İTÜ, 89, 1991.
19. FAYH F. and PROULX G., A Study of Human Behaviour during the World Trade Centre Evacuation, NFPA Journal, April/March, 59-67, 1995.
20. FEMA, WTC Fema Report, USA, 2002.
21. FERRARI A.L., ARADO M.G., GIANNUZZI L., MASTRANTONIO G., GUATELLI A., Hydrogen Cyanide and Carbon Monoxide in Blood of Convicted Dead in a Polyurethane Combustion: a Proposition for the Data Analysis, Forensic Science International, 121, 140-143, 2001.
22. FIRE TACTICS Web Sayfası, Operational Aspects of High-Rise Firefighting, www.firetactics.com/HIGH-RISE.htm, 2003.

23. FRANTZICH H., BENTHORN L., Fire Alarm in a Public Building, Fire and Materials, 23\6, 311-315, 1999.
24. FRASER-MITCHELL J.N., Modelling Human Behaviour with in Fire Risk Assessment Tool Crisp, Fire and Materials, 23\6, 349-355, 1999.
25. GALEA E.R., GWYNNE S., LAWRENCE P.J., FILIPPIDIS L., and BLACKSHIELDS D., BuildingEXODUS V3.01 User Guide and Technical Manual, Revision 3.0, Fire safety Engineering Group, University of Greenwich, 2001.
26. GRAAT E., MIDDEN C., BOCKHOLTS P., Complex Evacuation; Effects of Motivation Level and Slope of Stairs on Emergency Egress Time in a Sports Stadium, Safety Science, 31, 127-141, 1999.
27. GREATER LONDON COUNCIL, Code of Practice, London, 1974.
28. GWYNNE S., GALEA E.R., LAWRENCE P.J. and FILIPPIDIS L., A Review of the Methodologies Used in the Computer Simulation of Evacuation from the Built Environment, Building and Environment, 34, 741-749, 1999.
29. GWYNNE S., GALEA E.R., LAWRENCE P.J. and FILIPPIDIS L., Modelling Occupant Interaction with Fire Conditions Using the buildingEXODUS Evacuation Model, Fire Safety Journal, 36, 327-357, 2001.
30. HASOFER A.M., ODIGIE D.O., Stochastic Modelling for Occupant Safety in a Building Fire, Fire Safety Journal, 36, 269-289, 2001.
31. HOLBORN P.G., NOLAN P.F. and GOLT J., An Analysis of Fatal Unintentional Dwelling Fires Investigated by London Fire Brigade between 1996 and 2000, Fire Safety Journal, 38/1, 1-42 2003.
32. HORASAN M.B.N., Occupant Evacuation and Orientation Problems in Large Halls, Fire and Materials, 23\6, 369-373, 1999.

33. HÜRRİYET ARŞİVİ, Web Sayfası, <http://arsiv.hurriyetim.com.tr/hur/turk/97/12/09/yasam/01yas.htm>.
34. JIN T., 'Studies on Human Behaviour and Tenability in Fire Smoke, Proceedings of the Fifth International Symposium IAFSS, Melbourne, 3-21, 1997.
35. LEONHARD M.L. and BARRY N., Body Image and Obesity: Effects of Gender and Weight on Perceptual Measures of Body Image, Addictive Behaviours, 23, 31-34, 1998.
36. LOVAS G.G, Theory and Methodology Models of Wayfinding in Emergency Evacuations, Journal of European Journal of Operational Research, 105, 371-389, 1998.
37. MACLENNAN H.A., RERAN M.A., WARE R., an Engineering Model for the Estimation of Occupant Pre-movement and or Response Times and Probability of Their Occurrence, Fire and Materials, 23\6, 255-263, 1999.
38. MULHOLLAND G.W., Smoke Production and Properties, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2nd Edition, National Fire Protection Association, MA Quincy, 2, 217-227, 1995.
39. NATIONAL INSTITUTE OF STANDARTS AND TECHNOLOGY, A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Transport, NIST, USA, 2000.
40. NOTAKE H., EBIHARA M., YASHIRO Y., Assessment of Legibility of Egress Route in a Building from the View of Evacuation Behaviour, Safety Science, 38, 127-138, 2001.
41. NTV Web sitesi, 11 Eylül'den Çarpıcı Rakamlar, <http://www.ntvmsnbc.com/news>, 2003.
42. NTV Web sitesi, <http://www.ntvmsnbc.com/news/147685.asp>, 2003.

43. OLSSON P.A. and REGAN M.A., A Comparison between Actual and Predicted Evacuation Time, *Safety Science*, 38, 127-138, 2001.
44. ÖNER N., Türkiye’de Kullanılan Psikolojik Testler, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1997
45. ÖVEN ve ÇAKICI, Yapılarda Acil Boşaltım Analizi, II. Yangın Sempozyumu ve Sergisi (Uluslar Arası Katılımlı), 179-193, 2003.
46. ÖZGÜVEN İ., Psikolojik Testler, Pdrem Yayınları, Ankara, 2000.
47. PAULS J., Personal Perspective on Research, Consulting Codes- Standards Development in Fire-Related Human Behaviour, 1969-1999, with an Emphasis on Space and Time Factors, *Fire and Materials*, 23\6, 265-272, 1999.
48. PİSKOLOJİK DANIŞMANLIK ve REHBERLİK, <http://www.rehberogretmen.com/Rehfiles/ogrtant/rathus%20atilganlik%20envanteri.htm>
49. PROULX G., Playing with Fire: Understanding Human Behaviour in Burning Buildings, *ASHRAE Journal*, 45/7, 33-35, 2003.
50. PURSER D.A., BENSILUM M., Quantification of a Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations, *Safety Science*, 38, 157-182, 2001.
51. PURSER D.A., Smoke Toxicity, Improved Fire –and Smoke- Resistant Materials for Commercial Aircraft Interiors, 175-195, 1995A.
52. PURSER D.A., Toxicity Assessment of Combustion Products, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2nd Edition, National Fire Protection Association, MA Quincy, Chapter 2, 85-146, 1995.
53. RAMSEY J.D., Ergonomic Factors in Task Analysis for Consumer Product Safety, *Journal of Occupational Accidents*, 7-2, 113-123, 1985.
54. RASMUSSEN J., PEJTERSEN A.M., GOODSTEIN L.P., *Cognitive Engineering Systems*, Wiley, 1994.

55. RATHUS S.A., A 30-Item Schedule for Assessing Assertive Behaviour, Behaviour Research and Therapy, 4:398–406 1973.
56. RAUB J.A., Health Effects of Exposure to Ambient Carbon Monoxide, Chemosphere: Global Change Science, 1, 331-351, 1999.
57. RTE Web Sayfası, www.rte.ie.news.chikogo 2003.
58. Sabancı Web Sayfası, www.sabanci.com.tr/hakkinda_sabanci_center.htm
59. SHIELDS T.J., BOYCE K.E., SILCOCK G.W.H., Towards the Characterization of Large Retail Stores, Fire and Materials, 23\6, 325-331, 2000.
60. SIME J.D., An Occupant Response Shelter Escape Time (ORSET) Model, Safety Science, 38, 109-125, 2001.
61. SIME J.D., Movement towards the Familiar Person and Place Affiliation a Fire Entrapment Setting, Environment and Behaviour, 697-724, 1985.
62. SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS, Engineering Guide to Human Behaviour in Fire, Review Draft, SFPE, 2002.
63. STERNBACH G.L., VARON J., Claude Bernard: on the Origin of Carbon Monoxide Poisoning, Resuscitation, 58, 127-130, 2003.
64. SUBCOMMITTEE ON SUBMARINE ESCAPE ACTION LEVELS, Review of Submarine Escape Action Levels for Selected Chemicals, National Academy Press, Washington, 178-219, 2002.
65. T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI SİVİL SAVUNMA MÜDÜRLÜĞÜ, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2002.
66. THE AQUA GROUP, A Guide for the Design Team, Collins, 1984.
67. UNITED STATES FIRE ADMINISTRATION DATA CENTER, High Rise Office Building Fire One Meridian Plaza Philadelphia, Pennsylvania, 1-114, 1991.

68. VARON J., MARIK P.E., FROMM R.E., GUELER A., Carbon Monoxide Poisoning: a Review for Clinicians, *The Journal of Emergency Medicine*, 17/1, 87-93, 1999.
69. YOSHIMURA H., A Metrical Evaluation of the Arrangement of Fire Escapes by Goal Programming – A Study on Arrangement of Fire Escape in a Buildings Part 2, *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, 403, 9-19, 1989.
70. YOSHIMURA H., On Measuring Escapability from a Maze – a Study on Arrangement of Fire Escape in a Buildings Part I, *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering*, 375, 49-56, 1987.
71. ZHI G.S., LO S.M., FANG Z., A Graph-Based Algorithm for Extracting Units and Loops from Architectural Floor Plans for a Building Evacuation Model, *Computer-Aided Design*, 35, 1-14, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Sarıkamış'ta doğdu. 1995 yılında Özel Kocaeli Kolejinden mezun oldu. 2000 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden mezun oldu. 2000 yılında özel bir firmada Planlama Bölümünde Planlama Şef Yardımcısı olarak çalıştı. 2001 yılında G.Y.T.E. Mimarlık Fakültesi Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2002 den itibaren de bu bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

EKLER

Ek. 1

	T.C. GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ MİMARLIK FAKÜLTESİ
BİNA ACİL BOŞALTIM SÜRESİ BELİRLENMESİ ANALİZ ANKET FORMU	

1. Bence insanların çoğu benden daha atılgan ve saldırgandır.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

2. Sıkılganlığım yüzünden karşıt cinse herhangi bir öneride bulunamıyorum, ya da onların önerilerini kabul edemiyorum.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

3. Bir lokantada isteğime göre hazırlanmamış bir yemek getirince garsona şikayette bulunurum.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

4. Başkalarının beni kıldıklarını fark ettiğim halde onları incitmemeğe dikkat ederim.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

5. İstemediğim bir malı almam için ısrar edilirse "hayır" demekte zorluk çekerim.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

6. Benden bir şey yapmam istendiğinde nedenini öğrenmekte ısrar ederim.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

7. İnsanı geliştirici ve sert tartışmalara katılmak istediğim zamanlar olur.

(3) **ف** (2) **ف** (1) **ف** (-1) **ف** (-2) **ف** (-3) **ف**

8. Benim durumumdaki herkes gibi bende yükselmek için çabalarım.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

9. Doğrusunu isterseniz insanlar beni kullanır.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

10. Yeni tanıştığım insanlara ya da yabancılarla rahatlıkla konuşurum.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

11. Karşıt cinsten çekici birine ne söyleyeceğimi çoğu kez bilmem.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

12. Resmi telefon konuşmaları yapmaktan çekinirim.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

13. Bir işe mektup yazarak başvurmayı yüz yüze görüşmeğe tercih ederim.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

14. Satın aldığım şeyleri geri vermekten sıkılırım.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

15. Beni rahatsız eden saygıdeğer bir yakınıma, rahatsızlığımı ifade etmek yerine duygularımı ondan saklamayı yeğlerim.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

16. Aptalca görünürüm korkusuyla soru sormaktan kaçarım.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

17. Bir tartışma sırasında kızdığım, hırslandığım belli olacak diye korkarım.

ث (3) ث (2) ث (1) ث (-1) ث (-2) ث (-3)

18. Tanınmış ve saygı duyulan bir kimsenin yanlış bir şey söylediğini duyduğumda dinleyenlere kendi görüşümü de duyurmaya çalışırım.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

19. Satıcılarla pazarlık yapmaktan kaçınırım.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

20. Önemli ve değerli bir iş yaptığımda başkalarının bunu öğrenmesinde sakınca görmem.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

21. Duygularımı ifade ederken açık ve samimiyimdir.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

22. Biri benim hakkımda yanlış ve kötü şeyler söylerse hemen o kişiyle konuşurum.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

23. Çoğunlukla "Hayır" demekte güçlük çekerim.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

24. Duygularımı anında açığa çıkarmaktansa biriktirmeyi yeğlerim.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

25. Kötü bir hizmetten şikayetçi olurum.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

26. Övüldüğümde bazen ne diyeceğimi bilemem.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

27. Tiyatro, konferans gibi topluluklarda iki kişi yüksek sesle konuşursa, onlara susmalarını ya da konuşmalarına başka yerde devam etmelerini söylerim.

(3) ق (2) ق (1) ق (-1) ق (-2) ق (-3)

28. Kuyrukta öne geçen birine yaptığıının yanlış olduğunu söylerim.

ف (3) ف (2) ف (1) ف (-1) ف (-2) ف (-3)

29. Fikrimi ifade etmekte zorluk çekmem.

ف (3) ف (2) ف (1) ف (-1) ف (-2) ف (-3)

30. Hiçbir şey söyleyemediğim zamanlar olur.

ف (3) ف (2) ف (1) ف (-1) ف (-2) ف (-3)

Ek. 2

	T.C. GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ MİMARLIK FAKÜLTESİ				
	BİNA ACİL BOŞALTIM SÜRESİ BELİRLENMESİ ANALİZ ANKET FORMU				

Çalıştığı Kat	Adı ve Soyadı	Doğum Yılı	Cinsiyet	Boy (cm)	Kilo (kg)

KULLANICI ÇIKIŞ BİLGİSİ

31. Binada kaç tane merdiven kovası vardır.

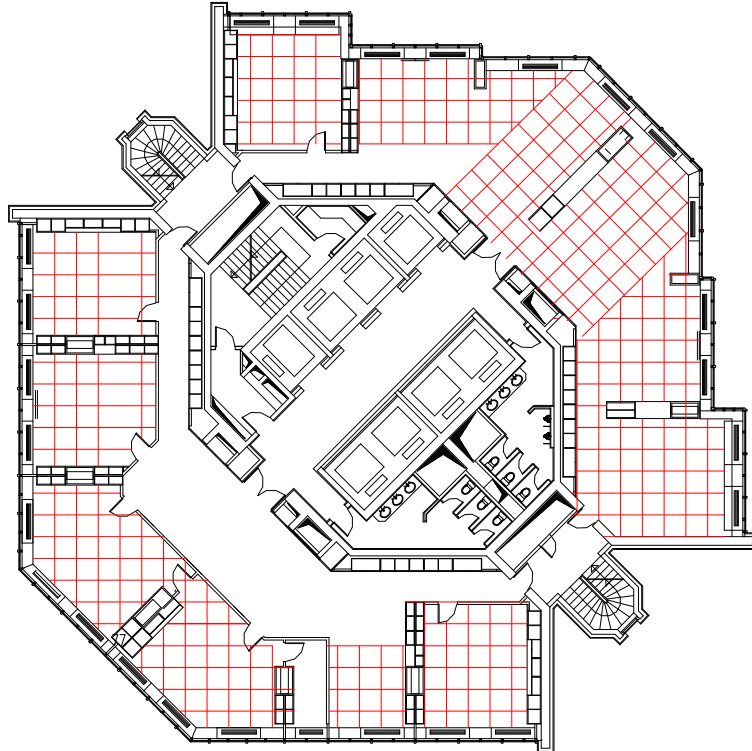
(1) ڦ (2) ڦ (3) ڦ (4) ڦ (5) ڦ

32. Acil boşaltım esnasında bir tıkanıklık olması halinde alternatif çıkış seçeneğiniz varsa, kuyrukta bekleme süreniz dakika cinsinden hangi aralıkta yer alır?

(0-3) ڦ (3-6) ڦ (6-9) ڦ (9-12) ڦ (12-15) ڦ (>15) ڦ

33. Çalışma masanızı plan üzerindeki kareye çarpı atmak sureti ile işaretleyiniz.

34. Binayı acil olarak terk etmek durumunda kullanacağınız çıkış yolu alternatiflerini tercih sırasına göre rakamla işaretleyerek plan üzerinde gösteriniz.



BÖLGELER

Her bir bölge numaralarla da ifade edilen taralı alanları temsil etmektedir.

