

Integration of Fire Vulnerability and Indoor Localization in Built Environments

Nilüfer Kızılkaya Öksüz¹, Fatih Topak², Mehmet Koray Pekerçi³, Ali Murat Tanyer⁴

^{1,2,3,4}Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara

^{1,2,3,4}{knilufer\ftopak\koray\tanyer}@metu.edu.tr

Abstract. In terms of building safety, various standards and regulations effect the formal decisions of building components besides aesthetic concerns. These effects can be perceived as restrictions for the creative basis of architecture that shape the buildings from the beginning by architects, thus they may be hesitant to building safety-related researches. This idea originates from conventional and invalid regulations with deterministic approaches that are accepted as decisive currently. As opposed to deterministic and single parameter approach of regulations, performance based design aims to test building performance as a whole. The increase in complexity of building systems, diversity in building performance inputs and occupant activities bring out interoperability of building multi variables. Therefore, there is a need of quick-response evaluation methods based on the decision-maker's intuition, judgement, and experience. Performance based vulnerability analysis model is developed to detect weakness of fire safety performance of building components from preliminary design level in order to get protection measures in time. Concordantly, indoor localization systems have wide area of use in construction market including building occupant detection, automatic property tracking, facility maintenance support and occupant guidance during building emergency response. These fields of applications overlap with egress route evaluation and performance based guidance systems. In this study, the collection of real-time and cumulative location data by using indoor localization technologies on egress route design parameters and potential uses of that data for occupant guidance in case of emergency are examined. Localization of building occupants correctly and guidance of them by using the fastest and the safest egress route based on vulnerability analysis is intended. In addition, by designating the occupant position in building, minimizing the evacuation time and injury cases is aimed.

Keywords: Fire vulnerability analysis, egress route design, indoor localization.

Yapılı Çevrede Yangın Kırılğanlığı ile Konum Belirleme Teknolojilerinin Birleştirilmesi

Nilüfer Kızılkaya Öksüz¹, Fatih Topak², Mehmet Koray Pekerçli³, Ali Murat Tanyer⁴

^{1,2,3,4}Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara

^{1,2,3,4}{knilufer\ftopak\koray\tanyer}@metu.edu.tr

Özet. Yapı güvenliği konusunda, yapı elemanlarının detaylarının biçimsel kararlarında, estetik kaygıların yanı sıra çeşitli standartların ve yönetmeliklerin de etkisi vardır. Mimarlar bu türden etkileri, tasarım süreci başlamadan yapıyı şekillendiren bir durum olarak algılamakta; bu durumu yaratıcı tasarım sürecine kısıtlayıcı etkenler olarak görmekte ve konu ile ilgili araştırmalara tereddütlü yaklaşmaktadırlar. Bu yaklaşım, dayanakları eskilere dayanan ve geçerliği kalmamış olan kuralların deterministik yaklaşımlarının süregelmesi ve halen belirleyici olarak kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Yönetmeliklere dayanan değerlendirmelerin aksine, performans temelli tasarım, yapının bir bütün olarak gerekli performans değerlerini sağlayıp sağlamadığını test etmeyi amaçlar. Yapı sistemlerinin karmaşıklığının, yapı performans girdilerinin ve kullanıcı çeşitliliğinin artması ile bilinmeyen ve bulanık çoklu değişkenler ortaya çıkmaktadır. Bu çok girdili tasarım ve uygulama sistemi, yapının zayıf performans parametrelerinin belirlenmesi için, karar vericinin sezgi ve muhakeme deneyimlerini kullanarak hızlı yanıt verebilen değerlendirme yöntemlerini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda geliştirilmekte olan performans tabanlı kırılğanlık analizi sayesinde yapı elemanlarının yangına dayanıklı tasarımı kapsamında zayıf kaldığı yönlerinin tasarım aşamasında belirlenebilmesi ve gerekli önlemlerin zamanında alınabilmesi hedeflenmiştir. Buna paralel olarak kapalı alanlarda konum tespiti inşaat sektörü için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu kullanımlara binada kullanıcı varlığı tespiti, inşaat alanlarında otomatik mal takibi, tesis bakım ve sürdürülmesinin desteklenmesi ve bina acil durum müdahalelerinde insanların yönlendirmesi dâhildir. Bu uygulama alanları ile kaçış yolu değerlendirmesi ve performans tabanlı yönlendirme sistemleri çalışmaktadır. Bu çalışmada, yangın kaçış yolları tasarımı parametrelerinin konum belirleme teknolojileri kullanılarak mekanlardan kullanıcı ve ekipmana dair gerçek zamanlı ya da kümülatif konum verilerinin toplanması ve bu verilerin acil durum yönlendirmesinde potansiyel kullanıcıları irdelenmiştir. Acil durum anında yapı kullanıcılarının konumlarının doğru belirlenip, kırılğanlık analizi ile tespit edilen en güvenli ve en hızlı kaçış yolu aracılığıyla çıkışlara yönlendirilmeleri hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, bina içerisindeki insanların pozisyonlarının belirlenip ve dinamik kaçış yollarına yönlendirilmesi ile tahliye süresini ve tahliye anındaki yaralanma vakalarını minimize etmek amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Yangın kırılğanlık analizi, kaçış yolu tasarımı, konum belirleme.*

1. Giriş

Yangın güvenliği tasarımında yönetmelikler tarafından belirlenen kurallar, kaçış yollarının da içinde bulunduğu yapı elemanlarının değerlendirilmesinde geçerli tek kaynak olmaktadır. Tasarım sürecinde alınan kararlar, finansal, fonksiyonel ve estetik kavramları da dikkate alarak, yönetmeliklerin sınırları çerçevesinde, tasarım kriterleri arasında belirlenen önceliklere şekillenir (Park ve ark., 2014). Bu yaklaşım, dayanakları eskilere dayanan ve geçerliği kalmamış olan kuralların deterministik yaklaşımlarının süregelmesi ve halen belirleyici olarak kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Mimarlar yönetmelikleri, tasarım süreci başlamadan yapıyı şekillendiren bir durum olarak algılamakta; bu durumu yaratıcı tasarım sürecine kısıtlayıcı etkenler olarak görmekte ve konu ile ilgili araştırmalara tereddütlü yaklaşmaktadırlar (Imrie & Street, 2011). Mimari tasarım ve yangın güvenliği parametreleri, yapı sistemindeki sistemlerinin, yapı ve yangın performans girdilerinin ve kullanıcı çeşitliliğinin artması ile ölçülebilen ya da ölçülemeyen, bulanık ve çoklu değişkenleri ortaya çıkarmakta, bu değişkenlerin değerlendirilmesi mevcut deterministik yöntemlerle yapılamamaktadır (Bushan & Rai, 2004). Daha esnek ve yapıya özgü yangın güvenliği tasarımı, senaryo tabanlı performans dayalı yangın güvenliği tasarımı ile sağlanabilir. Performans temelli tasarım, yapının bir bütün olarak gerekli performans değerlerini sağlayıp sağlamadığını test etmeyi amaçlar. Performans temelli tasarım, yangın güvenliği tasarımlarında gerekli seviyede önlemlerin sağlandığı koşullarda, tasarımın esneklik sağlanmasına izin verir (Ross, 2012). Performans değerlendirmesi farklı senaryolar için performans kriterlerinin belirlenmesi ile yürütülür (Tosolini, 2013). Bu-

nun yanında, çok girdili kaçış yolu tasarımı parametreleri, yapının zayıf performans kriterlerinin belirlenmesi için, karar vericinin sezgi ve muhakeme deneyimlerini kullanarak hızlı yanıt verebilen değerlendirme yöntemlerini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada kaçış yolu parametrelerinin kural tabanlı sayısal ve dilsel değişkenleri ortak kullanarak kırılgenlik analizi yöntemi olarak bulanık mantık modeli önerilmektedir. Zadeh (1965) tarafında geliştirilen bulanık mantık yönteminde klasik mantığın iki yönünün aksine, değerlendirilen her şeyin bir derecesi olduğu düşüncesine dayanmaktadır (Negnevitsky, 2011). Bilgi temsiliyi üyelik fonksiyonları üzerinden yapan bulanık mantık yöntemi, insan düşüncesinin değerlendirmesi, iletişimi ve soyutlanması açısından önemli bir role sahiptir. Önerilen yöntemle tespit edilen yapının zayıf noktaları, tahliye anında kullanıcıların kaçış yolu tercihlerini etkilemektedir. Bu yöntemle konum belirleme teknolojileri kullanılarak tespit edilen yapı kullanıcılarının güvenli kaçış yollarına yönlendirilmeleri, yangın anındaki tahliye süresini kısaltması ve yaralanmaları azaltması amaçlanmıştır. Literatür analiziyle belirlenen kaçış yolu parametreleri ve uygulanan kırılgenlik analizi metodu ikinci bölümde, konum belirleme teknolojilerinin tanımlanması ve dinamik kaçış yolu tasarımında kullanılması araştırmanın üçüncü ve dördüncü bölümlerinde açıklanmıştır.

2. Yangın Kaçış Yolu Kırılgenlik Analizi

Kaçış yolu, insanların bir noktadan bina dışındaki güvenli bir noktaya ulaşınca kadarkı hareketi süresince kullanması için tasarlanan güvenli rota olarak tanımlanmaktadır (UCL, 2000). Ortak parametrelerden biri, yapının dolaşım ve yön bulma sistemini, yangın

güvenliğinin ise tahliye sistemini oluşturan kaçış yolu olanaklarının tasarımıdır. Yapının acil durum tahliye sistemi çok yönlü girdileri olan, karmaşık bir sistem olarak tanımlanırken, mevcut değerlendirme kabulleri olarak tanımlanan yönetmeliklerde kriterlerin bireysel ve tek yönlü değerlendirilmesi söz konusu olmaktadır. Yönetmelik ile tanımlanan performans belirleyici faktörler tahliye sisteminin çıkış sayısı, merdiven sayısı, koridor uzunluğu, yönlendirilme işaretlerinin yeri ve kullanıcı sayısı gibi bireysel elemanlarının değerlendirilmesini sağlar ve her bir eleman için eşik değerleri ile sınırlıdır (Tosolini, 2013). Her yapının kullanıcıları ile kendisi, fonksiyonları, geometrisi ve çevresel faktörlerine dayanan, kendine özgü ve dinamiğini oluşturan bir karakteri vardır. Performans tabanlı yangın güvenliği tasarımı, yapının tasarım aşamasını belirli koşullar altında, senaryo tabanlı çalışmalar ile desteklemeyi amaçlar. Bu destek, mevcut yapı tasarımına ait verilerin toplanıp yönetmelik eşik değerleri ve örnek projelerden elde edilen çıkarımlar sonucu analiz edilmesi, kırılmalıkların tespiti ve önerilerin

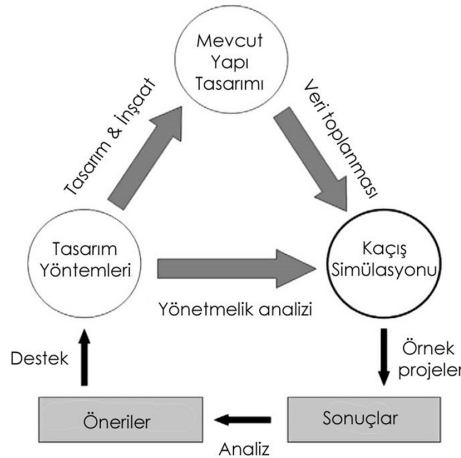
tekrar bir girdi olarak tasarım ve inşaat sürecine katılmasıyla gerçekleşir (Şekil 1) (Sagun, 2011).

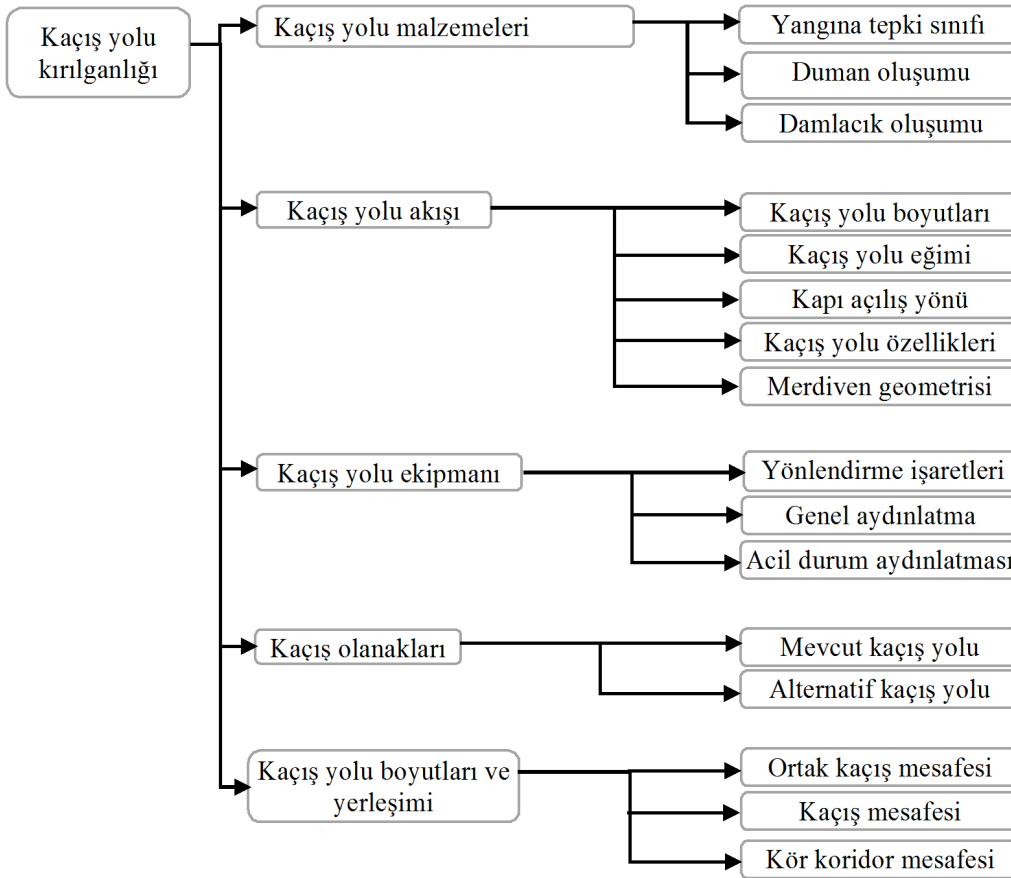
Kaçış yollarının tasarımında ana strateji, yangın doğrulandığından itibaren tüm kullanıcıların güvenli ve eş zamanlı tahliyesinin sağlanmasıdır. Yangın durumunda tahliye eylemi üç aşamada gerçekleşir; (1) Ön-tahliye, (2) Tahliye, (3) Tahliye-sonrası. Ön-tahliye aşamasında insanlar, ortamdaki verileri değerlendirip eylemlerine karar verirler. Bu aşama birkaç saniye sürebileceği gibi, saatler de alabilir. Karar verme süreci sonlandıktan sonra, tahliye başlar. Eğer insanlar alışık olmadıkları bir binada ise, kendi bireysel algıları ile kaçış yolu seçerler. Kaçış yolu seçimi yönlendirme işaretlerinin, aydınlatmanın ve yapı elemanlarının sağladığı ipuçlarına bağlıdır. Yapı içerisindeki her karar verme noktasında, insanlar bilgilendirmeye ihtiyaç duyar.

2.1 Tasarım Aşamasında Kaçış Yolu Kırılmalıklık Analizi

Kaçış yolu güvenliğinin sağlanması için kırılmalıklık analizinin mimari tasarımın ilk aşamasından itibaren yapılması gereklidir. Bu nedenle ilk aşamada literatürdeki değerlendirme yöntemlerine dayanan en kritik kaçış yolu parametreleri belirlenerek değerlendirme tabloları oluşturulmuş ve üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu parametreler kaçış yolu tasarımında kullanılan kaçış yolu malzemeleri, kaçış yolu akışı, kaçış yolu ekipmanının uygunluğu, kaçış olanakları, kaçış yolu boyutları ve yerleşimi olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Belirlenen 5 parametrenin ve her birinin alt parametrelerinden oluşan 16 üyelik fonksiyondan oluşan kaçış yolu kırılmalıklık analizi sonucu yapının her kaçış yolu elemanının beş aşamalı güvenlik seviyesi değerlendirmesi oluşturul-

Şekil 1. Kaçış simülasyonları ile tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi (Sagun, 2011)





Şekil 2. Kaçış yolu kırılabilirliği parametreleri

muştur. Dilsel değişkenler ve buna karşılık gelen bulanık mantık üyelik fonksiyonları Tablo 1. de sunulmuştur.

Bu değerlendirme yöntemiyle yapı elemanlarının yangın dayanımı kapsamında zayıf kaldığı yönlerinin ve kaçış yolu elemanlarının uygunluğunun tasarım aşamasında belirlenmesi, gerekli önlemlerin zamanında alınabilmesi hedeflenmektedir. Tasarım aşamasında önlemlerin alınmadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda, zafiyetlerin acil durum anında belirlenmesi, anında müdahale için tahliye

Dilsel değişkenler	Üçgensel bulanık mantık fonksiyonları
Yetersiz	(0, 0, 0.25)
Sınırlı	(0, 0.25, 0.50)
Orta	(0.25, 0.50, 0.75)
Güvenli	(0.50, 0.75, 1)
Çok güvenli	(0.75, 1, 1)

Tablo 1. Dilsel değişkenlere karşılık gelen üyelik fonksiyonları

aşamasında değerlendirme yapılması ve kullanıcıların en hızlı şekilde yerlerinin tespit edilip son çıkış kapılarına yönlendirilmesi gerekir.

2.2 Tahliye Aşamasında Kaçış Yolu Kırılma Analizi

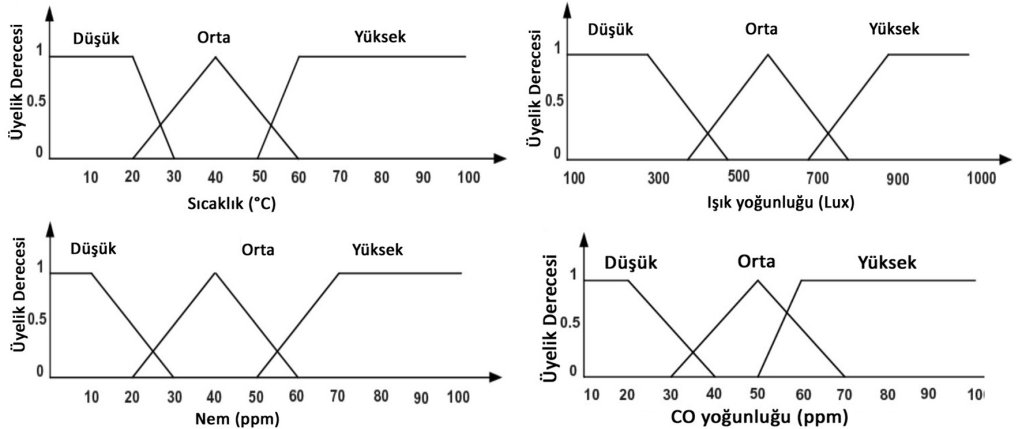
Yangın aşamasında yaralanmalar ve ölümler yapı içindeki duman salınımı, kaçış yolu üzerindeki yapı elemanlarının zarar görmesi, alevin kaçış yolu üzerine yayılması ve kalabalığın panik anındaki davranışlarından kaynaklanır. Bu durumda kritik olan, kaçış süresinin insanların binayı güvenli şekilde tahliye etmesine yeterli olmasıdır (Ahn & Han, 2011). Tasarım aşamasında alınan yapı elemanları ve malzemeleri güvenliğine ek olarak, ikinci aşama kırılma analizi yapının tahliye aşamasında kullanıcıların ve yapının güvenliğini tehdit eden zafiyetlerin giderilmesinin amaçlarıdır. Bu aşamada, aktif ve gözlemlenebilir parametreler olan sıcaklık, ışık yoğunluğu, nem, karbonmonoksit yoğunluğu yangın riskinin belirlenmesinde ve güvenlik seviyesinin değerlendirilmesinde kullanılmalıdır. Sistemin bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının, yapının anlık ölçülen değerleriyle karşılaştırılması ile sonuç veren Manjunatha ve ark., (2008) tarafından sunulan kırılma analiz sistemi bu çalışmanın aktif yangın sisteminde kullanılmak üzere önerilmiştir (Şekil 3).

Yapıların yangın açısından kırılma, bina fonksiyonlarını, sistemlerini ve arazi özelliklerini mekan ve kullanım karakteristikleri ile birleştirip çeşitli kriterlere göre değerlendirmeyi amaçlar. Kırılma, doğru değerlendirilmesi yangın kaçış simülasyonlarının doğruluğunu artırır. Bu bağlamda gerçek dünya örnekleri üzerinden kırılma parametrelerinin değerlerinin ve risklerin belirlenmesi büyük önem taşır.

3. Kapalı Alanlarda Konum Belirleme

Açık alanlarda konum belirleme, yaygın olarak kullanılan ve dünyada geniş bir ölçüde kabul görmüş olan global konum bulma (GPS) teknolojisi ile 1980lerin başından bu yana mümkündür. Kapalı alanlarda ise, uydu sinyalleri yapı duvarlarından geçecek kadar güçlü olmadığından, GPS teknolojisi konum belirleme amaçlı kullanılamamaktadır (Caron ve ark., 2007). Kapalı alanlarda konum belirleme ise, bir obje ya da insanın, kapalı bir alandaki semantik pozisyonunu tespit etme sürecini kapsamaktadır ve inşaat endüstrisi için önemli bir kulla-

Şekil 3. Aktif yangın değerlendirme sistemi üyelik fonksiyonları (Manjunatha ve ark., 2008)



Etap	Araştırma katılımcılarının cevaplarına göre önem sırası
Olay mahalline varmadan önce	<ul style="list-style-type: none"> - Binaya giden rota bilgisi ve binanın bulunduğu alanın haritası - Bina kullanıcı varlığı bilgisi (kullanıcıların sayısı ve kimlikleri) - Yakında bulunan su kaynaklarının konumları
Olay mahallinde	<ul style="list-style-type: none"> - Yangının yapı içerisindeki konumu, büyüklüğü ve süresi - Bina kullanıcılarının varlığı ve yapı içerisindeki konumları - Duman yayılım durumu ve konumu
Müdahale sırasında ve sonrasında	<ul style="list-style-type: none"> - Bekleyen müdahale ekiplerinin konumları ve durumları - İhtiyaç duyulan su ve köpük - Çevredeki mevcut korunaklı alanların konumu

Tablo 2. Acil durum müdahalelerinde konum belirlemenin önemi (Li ve ark. (2014))

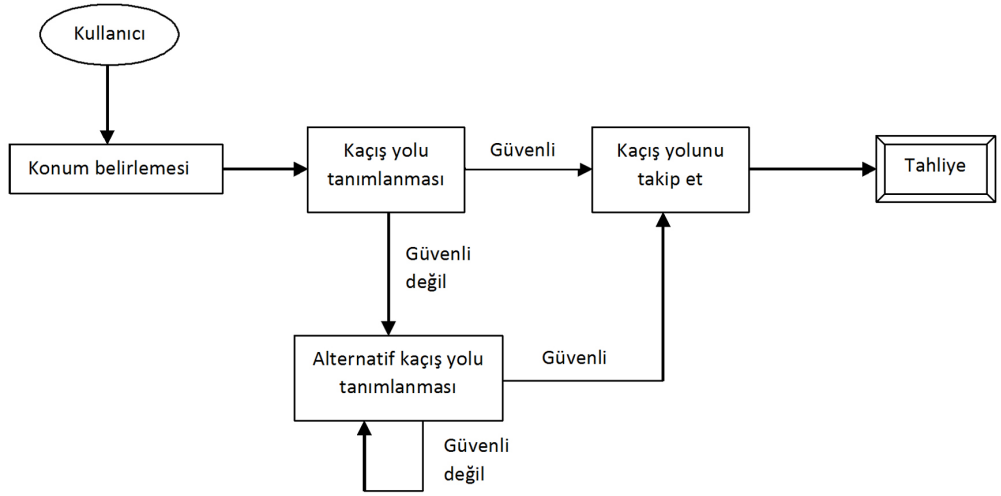
nım potansiyeline sahiptir. Radyo frekansı ile tanımlama (RFID), kablosuz yerel ağ (WLAN), ultra geniş bant (UWB) ve Bluetooth gibi farklı teknolojiler kullanılarak, kapalı alanlarda güvenli bir konum belirleme çözümü bulmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat kullanılan teknolojilerin performans, maliyet ve kullanılabilirlik ölçütlerinin arasındaki ödünleşim sebebiyle, her yönüyle uygun ve genel kabul gören bir konum belirleme sistemi hala bulunmamaktadır. Kapalı alanlarda konum belirleme sistemleri, sürmekte olan bilimsel çalışmalarla optimize edilmeye devam edilirken, bu sistemlerin yapılı çevrede çeşitli amaçlarla kullanımı önemli bir konu haline gelmiştir. Yapılı çevre kapalı alanlarında konum belirleme teknolojilerinin başlıca kullanım alanları, yapı kullanıcı varlığının ve kullanıcı varlık durumundaki değişimin tespiti, şantiye alanındaki yapı malzemeleri ve ekipmanların koordinatlarının belirlenmesi ve bunların saha üzerindeki yönetiminin kolaylaştırılması, tesis işletme ve bakımının desteklenmesi ve bina acil durum müdahalelerinde insanların olay mahalli içeri-

sinde yönlendirilmesine olanak sağlanmasıdır.

Konum belirleme teknolojilerinin yangın sonrası müdahale ekiplerince kullanılmasını çalışıldığı araştırmalarda, strüktürel çökme, sel, yangın gibi acil durumlar bina kullanıcıları ve acil durum müdahale ekipleri için ölümcül felaketlere dönmemesi için geliştirilen yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin; Li ve ark. (2015) yaptığı çalışmada bina içerisindeki insanların pozisyonlarının konum belirleme sistemleriyle belirlenmesinin, yaralanma vakalarını minimize etmekte ve ilk müdahale operasyonlarındaki başarı oranını artırmakta çok faydalı olabileceğini belirtmektedirler. İlk müdahale ekipleriyle yapılan röportajları içeren ve Li ve ark. (2014) tarafından yapılan yakın zamanlı bir araştırma, insanların acil durum mahallerindeki konum bilgilerinin tespitinin, en önemli konulardan biri olduğunu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Çalışmanın basitleştirilmiş sonuçları Tablo 2’de gösterilmektedir.

Etap Araştırma katılımcılarının cevaplarına göre önem sırası

Şekil 4. Yangın kaçış yollarının güvenliğinde konum belirleme sisteminin kullanılması



Bu çalışmada, konum belirleme teknolojilerinin yapının kullanımı ve acil durum sonrası müdahale ekiplerinin kullanımının yanında, acil durumda tahliye anındaki güvenli kaçış yollarının tespit edilmesi için kullanılması önerilmektedir.

4. Yangın Kaçış Yollarının Seçiminde Konum Belirleme Teknolojileri Uygulaması

Tasarım aşamasında ve tahliye aşamasında tanımlanan kaçış yolu güvenliği parametrelerinin kırılma analizi sonucu belirlenen güvenlik seviyesi, kapalı alan konum belirleme sistemleri ile birleştirilerek kullanıcıların güvenli tahliye yollarına yönlendirilmeleri için kullanılması amaçlanmaktadır. Şekil 4'te tanımlanan çerçeveye, yapı içerisinde herhangi bir noktada bulunan kullanıcının, acil durum sırasında ilk aşama olarak konumunun belirlenmesi, ikinci aşama olarak kırılma analizi ile minimum risk seviyesi "güvenli" ola-

rak tanımlanan kaçış yoluna yönlendirilmesi, ve bu işlemin alternatif kaçış yolları arasında yapılacak dinamik seçimlerle tahliye işlemi tamamlanan kadar devam etmesi açıklanmaktadır. Yapının senaryo tabanlı performans değerlendirmesi aşamasında, konum belirleme sistemi ile belirlenen kullanıcı sayısı ve yerleşimleri dinamik kaçış yollarına yönlendirilerek karşılaştırmalı tahliye süreleri üzerinden karşılaştırma yapılmalıdır. Önerilen yöntemi düzenlenecek yangın tatbikatları sonucu test etmek mümkündür ancak bu durum maliyet ve zaman yönetimi açısından marjinal fayda sağlamamaktadır. Bu nedenle yöntemin mevcut yapıların iyileştirilmesindeki performans değerlendirmesi için karşılaştırmalı kaçış simülasyonları kullanılması önerilmektedir.

Simülasyonlar sonucu tespit edilen zafiyetlerin, tasarımın ilk aşamasından itibaren bilinmesi ve önlemlerin alınması yapının yangın güvenliği seviyesinin artışında önemli rol oynamaktadır. Tek bir olağanüstü durum karşısında alınan önlemler bütünü, diğer muhte-

mel olağanüstü durumlar karşısında alınacak önlemlerin seviyesinde de artış sağlamaktadır. Bunun yanında, kaçış simülasyonları ile yangının sonuçlarının azaltılması, onun yapıya verdiği zararları azaltmak anlamına gelmektedir. Bu nedenle kaçış simülasyonları, insan güvenliğini en üst noktada tutmaya devam ederek, yapının bütüncül güvenliğini test eden performans değerlendirme yöntemleriyle birlikte çalışmalıdır.

5. Sonuç

Bu çalışmada tasarım aşamasında ve tahliye aşamasında tanımlanan kaçış yolu güvenliği parametrelerinin kırılabilirlik analizi sonucu belirlenen güvenlik seviyesi, kapalı alan konum belirleme sistemleri ile birleştirilerek kullanıcıların güvenli tahliye yollarına yönlendirilmeleri için kullanılması amaçlanmaktadır. Mekanların yangına karşı kırılabilirliklerini belirleme sürecinde halihazırda kullanılan binalardan belirli parametrelerin kişilerin ve yangın açısından önemli (riskli, kurtarıcı, vb.) ekipmanların konum verileri aracılığıyla oluşturulması ve kaçış simülasyonu ile test edilmesi önerilmektedir. Bu bağlamda konum belirleme teknolojilerinin kişilerin ve ekipmanların pozisyonları ve yangın açısından kırılabilirlikleri arasında ne tür ilişkiler bulunduğu belirlenmelidir. Bu ilişkiler çoklu boyutta ve karmaşıklıktadır, bu nedenle kırılabilirlik analizi yöntemi olarak bulanık uzman sistemler kullanılmıştır. Oluşturulan model, yapının yönetmelik analizi ile ortaya çıkmayan yangın zafiyetlerinin tespit edilmesini ve hızlı bir şekilde raporlanmasını sağlamayı hedeflemektedir. Daha ileride yapılacak bir çalışma için ön hazırlık olarak bu çalışmanın sonuçları bu ilişkilerin bir haritasını ve niteliğini oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

CARON, F., RAZAVİ, S.N., SONG, J., VANHEEGHE, P., DUFLOS, E., CALDAS, C., HAAS, C., (2007). Locating sensor nodes on construction projects, *Autonomous Robots* 22 (3) 255-263.

PARK, H., MEACHAM, B. J., DEMBSEY, N. A., & GOULTHORPE, M. (2014). Enhancing Building Fire Safety Performance by Reducing Miscommunication and Misconceptions. *Fire Technology*, 50(2), 183–203.

ROSS, L. (2012). Invitation & Escape - The Architecture of Fire Safety Regulation.

SAGUN, A., BOUCLAGHEM, D., & ANUMBA, C. J. (2011). Simulation Modelling Practice and Theory Computer Simulations vs. Building Guidance to Enhance Evacuation Performance of Buildings during Emergency Events. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(3), 1007–1019.

TOSOLINI, E. (2013). Emergency Evacuation and Safety in Complex Environments.

LI, N., BECERIK-GERBER, B., SOBELMAN, L., (2015). Iterative Maximum Likelihood Estimation Algorithm: Leveraging Building Information and Sensing Infrastructure for Localization during Emergencies, *Journal of Computing in Civil Engineering* 29 (6) 04014094.

LI, N., YANG, Z., GHARAMANI, A., BECERIK-GERBER, B., SOBELMAN, L., (2014). Situational awareness for supporting building fire emergency response: Information needs, information sources, and implementation requirements, *Fire Safety Journal* 63 17-28.

UCL FIRE TECHNICAL NOTE, (2000). General Fire Safety Terms & Definitions, Available: http://www.ucl.ac.uk/estates/maintenance/fire/documents/UCLFire_TN_006.pdf

IMRIE, R & STREET, (2011). Architectural Design and Regulation. John Wiley & Sons Ltd., Oxford.

BUSHAN, N. & RAI, K., (2004). The Analytic Hierarchy Process. Strategic Decision Making, pp.11–21. Available at: <http://www.springer.com/978-1-85233-756-8>

NEGNEVITSKY, M., (2011). Fuzzy expert systems. Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems.

MANJUNATHA, P., VERMA, A.K., & SRIVIDY A. (2008). Multi-Sensor Data Fusion in Cluster based Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic Method. IEEE Region 10 Colloquium and the Third ICIS, Kharagpur, INDIA.

AHN, j & HAN, R. (2011). RescueMe: An Indoor Mobile Augmented-Reality Evacuation System by Personalized Pedometry.

ZADEH, L.A., (1965) Fuzzy Sets, Introduction,