Bina İçi Yönlendirme Sistemlerinde Kullanılan En Kısa Yol Algoritmalarının Afet ve Acil Durum Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi

M. Ayhan
Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara
muratayhan@gazi.edu.tr

S. Ergan
Carnegie Mellon Üniversitesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Pittsburgh
semiha@cmu.edu

G. Güven, E. Ergen
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
gursans.guven@itu.edu.tr, esin.ergen@itu.edu.tr

M. A. Erberik, Ö. Kurç, M. T. Birgönül
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara
altug@metu.edu.tr, kurc@metu.edu.tr, birgonul@metu.edu.tr

Özet

Mimari açıdan karmaşık ve içinde fazla sayıda insanın bulunacağı şekilde tasarlanan ofis veya eğitim binaları gibi yapılarda, herhangi bir doğal afette ve/veya acil durumda büyük ölçekte can kayıpları ve yaralanmalar yaşanabilmektedir. Ayrıca, bir afet/acil durum sonrasında değişen bina koşulları ardışık afetleri ve/veya tehlikeleri (örneğin deprem sonrası çıkan yangınlar) tetikleyebilmektedir. Etkin bir bina içi yönlendirme sistemi, afetlerde/acil durumlarda yaşanan problemleri en aza indirgeyerek can kayıplarını azaltmada kritik bir öneme sahiptir. Bina içi yönlendirmede amaç, bina içersinde bulunan kişilerin, afetlerden/acil durumlardan ve tetiklenebilecek ardışık tehlikelerden en az etkilenecek şekilde en kısa yoldan güvenli bölgelere yönlendirilmeleridir. Bu amaçla bina içi yönlendirme sistemlerinde en kısa yol (EKY) algoritmaları kullanılmaktadır. Literatürde, araştırmacıların yönlendirme sistemlerini oluştururken hangi EKY algoritmasını tercih etmeleri gerektiği yönünde bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışma bulgularının, bina içi yönlendirme sistemi geliştirme çalışmalarında en uygun algoritmanın seçimine kılavuzluk etmesi hedeflenmektedir. Literatürdeki bina içi yönlendirme çalışmaları araştırılarak en sık kullanılan EKY algoritmalarının afet sonrası oluşan yeni yapı koşullarında kısa yol belirlemedeki performansları incelenmiştir. Yönlendirme sistemlerinde kullanılacak olan EKY algoritmalarının sağlamaları gereken özellikler belirlenen altı adet ölçüt ışığında afet/acil durum yönetimi bakış açısıyla kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca, afetlerde/acil durumlarda kullanılabilecek bina içi yönlendirme sistemlerinden beklenenleri en uygun şekilde sağlayan EKY algoritması üzerine tartışma ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Afet ve Acil Durum Yönetimi, Bina İçi Yönlendirme Sistemleri, En Kısa Yol Algoritmaları*

Giriş

Mimari açıdan karmaşık ve içinde fazla sayıda insanın bulunacağı şekilde tasarlanan ofis veya eğitim binaları gibi yapılarda, herhangi bir doğal afette ve/veya acil durumda büyük ölçekte can kayıplarının ve yaralanmaların yaşanması olasıdır. Ayrıca, afetler/acil durumlar, tek başlarına yarattıkları tehlikelere ek olarak, beraberlerinde ardışık tehlikeleri de getirebilirler. Örneğin deprem sonrası binalarda yangın başlaması veya tehlikeli maddelerin açığa çıkarak başka tehlikeler (örneğin patlama) oluşturması oldukça yaygındır. Dolayısıyla bir afet/acil durum anında binalar ve binalarda bulunan kişiler (kullanıcılar, bina sakinleri) birden fazla tehlikeli durumla karşı karşıya kalabilmektedirler. Bir afet/acil durum sonrasında binada bulunan kişiler (1) afet/acil durum sonrası değişen bina içi koşullar hakkında bilgi sahibi olmadıklarından tehlikeler karşısında korunaksız kalırlar, (2) bina içerisinde mahsur kalmaları durumunda ardışık tehlikelere maruz kalırlar ve ayrıca (3) tahliye sırasında panik yaşayarak zarar görürler. Bunlar bir afet/acil durum sonrasında bina içinde yaşanan can kayıpları ve yaralanmaların temel nedenleri olarak sayılabilir. Bu problemleri çözebilmek için kullanılacak etkin bir bina içi yönlendirme sistemi can kayıplarını azaltmada kritik bir öneme sahiptir. Bina içi yönlendirme çalışmalarında, binadakilerin afetlerden/acil durumlardan ve tetiklenebilecek ardışık tehlikelerden en az etkilenecek şekilde güvenli bölgelere en kısa yoldan yönlendirilmeleri hedeflenir. Bu amaçla, bina içi yönlendirme sistemlerinde en kısa yol (EKY) algoritmaları kullanılmaktadır. EKY algoritmaları bir başlangıç noktası ile hedef noktası arasındaki mümkün olan en kısa yolu hesaplama özelliğine sahip algoritmalardır (Marcus, 2008; Gross ve Yellen, 2006).

Literatürde farklı amaçlara hizmet eden ve farklı koşullar altında çalışan pek çok EKY algoritmasını bulmak mümkündür. EKY algoritmaları performanslarına, kullanım şekillerine ve amaçlarına göre farklı sonuçlar verebilmektedir. Buna dayanarak, üzerinde en kısa yolun hesaplanması gereken grafik ağına ve EKY probleminin çözümünden beklenenlere göre literatürde yer alan pek çok EKY algoritması arasından en uygun algoritmanın tercih edilmesinin kritik bir karar olduğu söylenebilir (Zhan ve Noon, 1998). Bu durum, literatürde araştırmacıların yönlendirme sistemlerini oluştururken hangi EKY algoritmasını tercih etmeleri gerektiği yönünde bir boşluk doğurmuştur. Bu çalışma ile bina içi yönlendirme sistemlerinden beklenen çıktılara göre en uygun algoritmanın seçilebilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, literatürde en çok tercih edilen EKY algoritmaları afet/acil durum yönetimi bakış açısıyla belirlenmiş ve incelenmiştir. Çalışma kapsamında, literatürde en çok tercih edilen algoritmalar olarak (1) Prim Algoritması, (2) Dijkstra Algoritması, (3) Bellman-Ford Algoritması ve (4) A* Algoritmaları ele alınmıştır. Bir sonraki bölümde bu algoritmaların özellikleri, çalışma yöntemleri ve kısıtlamaları kısaca tartışılmaktadır.

EKY Algoritmaları

Amerikan Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü'nün tanımına göre EKY, bir grafik ağındaki iki noktanın en kısa yolla birleştirilmesi problemidir. Burada bahis edilen "en kısa yol" kavramı, istenen sonuca göre en az sayıda kenar içeren yol, en düşük kenar maliyetini veren yol gibi anlamlara gelmektedir (Black, 2005). Bir başka tanıma göre ise, EKY algoritmaları grafik ağlarında optimum yolları bulmak için kullanılan algoritmalardır (Karaş, 2007). Bu tanımlarda geçen grafik ağları, başlangıç ve hedef noktalarını ifade etmek için kullanılan noktalar (düğüm noktaları) ve bu noktaları

birbirleriyle birleştiren yollardan (kenarlar) oluşan ağlardır. EKY algoritmaları, grafik ağlarının üzerinde çalışarak, başlangıç ve hedef noktaları arasındaki en kısa yolları hesaplarlar. Bu hesaplamanın yapılması için her kenara, kenar maliyeti veya kenar ağırlığı adı verilen bir değer verilir. Başlangıç ve hedef noktaları arasında en düşük maliyeti veren yol, en kısa yol olarak ortaya çıkmaktadır. Tüm kenarlarının kenar ağırlıkları belirli olan grafik ağlarına "ağırlıklı grafik ağı" adı verilir. Bazı durumlarda, tüm kenarlar ağırlık değerlerine sahip olmayabilir. Böyle durumlarda, EKY algoritmasının başlangıç ve hedef noktaları arasında hesaplayacağı en kısa yol, en az sayıda kenar içeren yol olacaktır (Marcus 2008; Gross ve Yellen, 2006). Gerçek zamanlı bina içi afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde de binaların grafik ağları kurulması gerekmekte olup bu ağlarda yer alacak olan tüm kenarların kenar ağırlıkları belirlenmelidir. Kenar ağırlıkları mesafe cinsinden olduğunda, komşu iki düğüm noktası arasındaki uzaklık değerine eşit olacaktır. Grafik ağlarıyla ilgili bir başka nokta ise afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde binaların iç ortamlarını modellemek amacıyla hazırlanan grafik ağlarında yer alan tüm düğüm noktalarının birbirleriyle bağlı olması gerekliliğidir. Böylece, bina içerisinde herhangi bir noktadan herhangi bir noktaya yönlendirme yapılması sağlanabilir. Tüm düğüm noktaları, kenarlar vasıtasıyla birbirine bağlanabilen grafik ağlarına ise "bağlı grafik ağı" adı verilmektedir (Marcus, 2008).

EKY algoritmaları değişik çalışma alanlarında pek çok farklı problemin çözümünde kullanılmaktadır. Bu alanlar arasında araç navigasyonu, optimizasyon çalışmaları, iş planlaması ve Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Program Evaluation and Review Technique, PERT) tablolarında kritik yolların belirlenmesi, robot teknolojilerinde hareket planlaması, karayolu mühendisliği, enerji nakil hatlarının planlaması sayılabilir (Eppstein, 1994). Şebeke analizleri ve özellikle optimizasyon üzerine yapılan çalışmalar, temel olarak EKY problemlerinin çözümüdür (Cherkassky ve diğerleri, 1993). Ayrıca, ulaşım ve navigasyon alanlarındaki pek çok uygulama için EKY hesaplanması bir gerekliliktir (Golden, 1976).

EKY algoritmaları aynı zamanda bina içi yönlendirme sistemlerinde kişilerin güvenli bölgelere tahliyesi amacıyla da kullanılmaktadır (Meijers ve diğerleri, 2005). Bu çalışmada da, EKY algoritmaları afet/acil durum yönetimi bakış açısıyla, Yapı Bilgi Modeli (YBM) (Building Information Model-BIM) tabanlı, gerçek zamanlı bina içi acil durum yönetimi sistemlerinde kullanılacak şekilde değerlendirilmektedir. Bir başka anlatımla, bina içerisindeki kişilerin yönlendirilmesinin ve tahliyesinin sağlanması için, EKY algoritmaları ile YBM üzerinden elde edilecek bina bilgilerinin (örneğin geometrik ve anlamsal bilgiler) bütünleştirilmesi amaçlanmaktadır. YBM'den elde edilen bina bilgilerine (örneğin kat planları, bina elemanlarının yerleri) dayanarak binaların grafik ağlarının otomatik şekilde oluşturulması ve bina içi koşullar göz önüne alınarak (gerçek zamanlı) en kısa tahliye yollarının belirlenmesi amacıyla bu ağlar üzerinde EKY algoritmalarının çalıştırılması mümkün olmaktadır. Güven ve diğerlerinin (2012) çalışmasında da, EKY algoritmaları kullanılarak bina içindekiler için tahliye yollarını belirleyen benzer bir sistem önerisinde bulunulmaktadır. Ancak literatürdeki pek çok diğer çalışmada olduğu gibi söz konusu çalışmada da EKY algoritmalarının seçimi ve kullanımı ile ilgili ayrıntılı bir yaklaşım bulunmamaktadır. Ancak, grafik ağları üzerinde çalışarak EKY problemlerini çözebilecek çok sayıda EKY algoritması bulunduğundan, söz konusu algoritmalar üzerinde de yoğunlaşan çalışmalara ihtiyaç vardır. Bir başka deyişle, binalar için oluşturulan grafik ağları üzerinde tahliye yollarının belirlenebilmesi için EKY algoritmaları arasından bir

algoritma tercih edilmeli ve bu tercih yapılırken istenilen çözümler ve çalışmanın koşulları göz önüne alınmalıdır.

EKY Algoritmalarının Değerlendirmesi

Literatürde EKY problemlerinin çözümü, EKY algoritmalarının kıyaslanması ve özellikle afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde kullanılan EKY algoritmaları ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve buna göre en sık kullanılan dört EKY algoritması (1) Prim Algoritması, (2) Dijkstra Algoritması, (3) Bellman-Ford Algoritması, (4) A* Algoritması olarak belirlenmiştir. Bu bölümde, belirlenen bu algoritmaların özellikleri, performansları, çalışma kapsamındaki koşullar altında sağlayacakları avantajları ve dezavantajları tartışılmaktadır.

Prim Algoritması

Prim Algoritması, "ağırlıklı" ve "bağlı grafik" ağları üzerinde çalışabilen bir EKY algoritması niteliğindedir. Bu algoritma, bir başlangıç noktasıyla hedef noktası arasındaki en kısa yolu hesaplamak yerine, bu noktalar arasındaki minimum örten ağacı (minimum spanning tree) hesaplamaktadır. Ağaç, döngüsüz-bağlı bir grafik ağıdır. Grafik ağlarında döngü, herhangi bir kenarın başlangıç ve hedef noktasının aynı düğüm noktası olduğu durumları anlatan bir terimdir. Ağaçlarda iki komşu düğüm noktası arasında sadece tek bir kenar bulunur. Minimum örten ağaç ise, grafik ağındaki tüm düğüm noktalarının en kısa yoldan (en düşük toplam kenar maliyetli yol) birleşmesiyle oluşan ağaçtır. Prim Algoritması, bir sonraki düğüm noktasına geçmeden önce bulunduğu düğüm noktasının sahip olduğu tüm kenarların kenar maliyetlerini kontrol eder ve en düşük maliyetli kenarı seçerek hafızasına alır. Bu işlem, grafikteki tüm düğüm noktalarına ulaşılıncaya kadar devam eder (Marcus, 2008; Gross ve Yellen, 2006; Cormen ve diğerleri, 2009).

Afet/acil durum yönetimi sistemleri çalışmalarında, Prim Algoritması'nın tercih edildiği önemli çalışmalardan biri Park ve Lee'nin (2008) çalışmasıdır. Bu çalışmada, Hücresel Otomasyon (Cellular Automata) sistemlerine dayalı, bina içi ortamları modelleyebilen; bu modellerinden grafik ağları oluşturup afetler/acil durumlardan sonra bina içerisindeki kişiler için tahliye yollarını hesaplayarak yönlendirme yapabilen bir sistem önerilmiştir. Hazırlanan tahliye yollarının, kişinin bulunduğu mahale göre, kişiye özgü olarak oluşturulması hedeflenmiştir. Kişilerin bina içerisindeki yerlerinin belirlenmesi amacıyla Radyo Frekanslı Tanımlama (Radio Frequency Identification (RFID)) teknolojileri kullanılmıştır. Ancak, yer tespitindeki doğruluk oranı, önerilen sistemin önemli bir eksikliğidir. Sistem, bina içerisindeki herkes için kişiye özgü tahliye yolları geliştirme amacı güttüğü için, her bir birey için EKY hesaplamak yerine, tüm ağı kapsayan minimum örten ağacın hesaplanması daha kullanışlı olacaktır. Bu sebeple, Park ve Lee (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Prim Algoritması kullanılması mantıklı bir yaklaşımdır. Diğer yandan, bu bildiri kapsamında bahsedilen afet/acil durum yönlendirme sistemleri açısından düşünüldüğünde, koşullar Park ve Lee (2008)'nin çalışmasından farklıdır; çünkü sistem performansının arttırılması amacıyla grafik ağlarının daha sade olması hedeflenmektedir. Grafik ağlarının binaların sadece geçiş bölgelerinde (koridor, merdiven, kapı, pencere) oluşturulması ve oda alanlarının grafik ağlarının dışında tutulmasının bunu sağlayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle,

Prim Algoritmasının önerilen yaklaşım içinde kullanılmasının gereksiz hesaplamalara sebebiyet vererek yazılımın performansını düşüreceği öngörülmektedir.

Dijkstra Algoritması

Edgar Dijkstra tarafından 1959 yılında ortaya atılan Dijkstra Algoritması'nın çok yaygın kullanılan ve pek çok EKY probleminin çözümünde en iyi sonuç veren algoritma olduğu söylenebilir (Karaş, 2007). Literatürde, "Temel Dijkstra Algoritması", "Dijkstra Naive Uygulaması", "Dijkstra Fibonacci Yığını" gibi aralarında küçük değişimler olan pek çok farklı Dijkstra Algoritması mevcuttur. Ancak, bu algoritmaların hepsinin temel ilkeleri aynıdır ve aralarındaki farklar çözüm süresi açısından milisaniyelerle ölçülebilir (Zhan ve Noon, 1998). Milisaniyeler seviyesindeki zaman tasarruflarına büyük çaplı bilgisayar programı uygulamalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Afet/acil durum müdahalelerinde de kişilerin bir an evvel tahliye edilmeleri açısından zaman çok önemli olmasına rağmen, milisaniyeler ölçüsündeki tasarrufların kayda değer bir katkısı olmayacağı açıktır. Bu nedenle, Dijkstra Algoritması'nın genel ilkelerinin uygulanması afet/acil durum yönlendirme sistemleri açısından yeterli olacaktır.

Dijkstra Algoritması'nın çalışma yöntemi, Prim Algoritması'nınkine oldukça benzemektedir. Her iki algoritmada da, EKY hesaplamak amacıyla grafik ağları üzerindeki minimum örten ağaçlar hesaplanmasına rağmen, gene de iki algoritma arasında farklar mevcuttur. Prim Algoritması bulunduğu düğüm noktasından komşu bir düğüm noktasına geçiş yaparken minimum kenar maliyetini kontrol etmektedir. Buna karşılık, Dijkstra Algoritması ise sadece komşu iki düğüm arasındaki kenar maliyetini değil, toplam kenar maliyetini en düşük seviyede tutmaya çalışmaktadır (Cormen ve diğerleri, 2009). Bir başka deyişle Dijkstra Algoritması, bir sonraki düğüm noktasını toplam kenar maliyetini en az tutacak şekilde seçmektedir. Prim Algoritması sadece bulunduğu düğüm noktası ile o düğüme komşu olan düğüm noktaları arasındaki kenar maliyetini hafızasında tutmakta, önceki seçimler sırasında yapılan işlemleri hafızasında tutmamaktadır. Hesaplamalar algoritmanın o an üzerinde bulunduğu düğüm noktasına göre yapılmaktadır. Bu durum, Dijkstra Algoritması ile Prim Algoritması kıyaslandığında, Dijkstra'nın daha iyi sonuçlar vermesini sağlamaktadır.

Bahsedilen avantajlarına rağmen, Dijkstra Algoritması'nın da dezavantajları mevcuttur. Grafik ağında yönlü kenarlar bulunduğunda, algoritmanın performansı (çözüm süresi) olumsuz yönde etkilenmektedir. Bir kenarın yönü belirtilmişse, o kenar sadece belirtilen yönde geçişe imkan vermekte olup, bu şekilde tanımlanan kenarlara yönlü kenar adı verilmektedir. Bir kenarın yönü belirtilmemişse, o kenar her iki yönlü de geçişe izin vermektedir. Yönlü kenarlar, algoritmanın kenar seçim olasılıklarını kısıtlayarak performansını etkilemektedir. Bir diğer engel ise, grafik ağında negatif ağırlıklı kenarlar bulunduğunda gözlemlenmektedir. Algoritma, negatif ağırlıklı kenarlar bulunduğunda tutarlı sonuçlar verememektedir (Marcus, 2008). Ancak, binaların grafik ağları oluşturulurken kenar ağırlıkları (maliyetleri) mesafe cinsinden atanacağı ve mesafe değerleri negatif değer alamayacağından, grafik ağlarında negatif ağırlıklı kenarlar bulunmayacaktır. Bu durumda söz konusu engel de sorun teşkil etmeyecektir.

Afet/acil durum yönetimi sistemleri incelendiğinde, en çok tercih edilen algoritmanın Dijkstra Algoritması olduğu görülmektedir. Ivin ve diğerleri (2008), Karaş (2007), Lee (2007) ve Richter ve Klippel (2005) Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne (CBS) dayalı

yönlendirme sistemi çalışmalarında bu algoritmayı tercih etmişlerdir. Yuan ve Zizhang da (2008), YBM tabanlı araçlarıyla üç boyutlu acil durum yönlendirmesi yapabilen sistemleri için Dijkstra Algoritması'nı kullanmayı uygun bulmuşlardır.

Bellman-Ford Algoritması

Bellman-Ford Algoritması, Dijkstra Algoritması'nın negatif ağırlıklı kenarlar mevcut olduğunda yaşadığı sorunların önüne geçilmesi amacıyla geliştirilmiştir (Marcus, 2008). Bu iki algoritmanın negatif ağırlıklı kenarların mevcudiyeti haricinde tamamen aynı olduğu söylenebilir. Bellman-Ford Algoritması'nın tek avantajı, negatif ağırlıklı kenarların söz konusu olduğu grafik ağlarında da tutarlı sonuçlar verebilmesidir. Ancak, afet/acil durum yönetimi sistemlerinde bu algoritmanın tercih edilmediği görülmektedir. Binaların grafik ağları oluşturulurken belirlenecek kenarların da mesafe ağırlıklı (pozitif) değerler alacağı düşünüldüğünde, Bellman-Ford Algoritması'na ihtiyaç duyulmayacağı söylenebilir.

A* Algoritmaları

A* Algoritmaları yol belirleme amacıyla en yaygın kullanılan algoritmalardan biridir. Bu algoritmalar genellikle oyun endüstrilerinde ve sanal ortamlarda yönlendirme sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Amit, 2010). Bu nedenle, literatürde afet/acil durum yönlendirmesi amacıyla kullanımına rastlanmamaktadır. Ancak, A* Algoritmalarının sahip olduğu esneklik ve gelişmiş engel atlatma yetenekleri göz önünde bulundurulduğunda, afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde kullanımlarının uygun olabileceği anlaşılmaktadır. Afet/acil durumlar sonrası binalarda oluşması muhtemel erişilemez bölgeler ile hassas bölgeler, tahliye yollarının güvenliğini tehdit edebileceğinden, tahliye yollarının bu bölgelerden geçmemesine dikkat edilmelidir. Tahliye yollarının hesaplanması sırasında söz konusu bölgeler, A* Algoritmalarının esneklik ve gelişmiş engel atlatma yetenekleri sayesinde kolayca atlatılabilinir. Diğer algoritmalarla kıyaslandığında, A* Algoritmalarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Amit, 2010):

- Daha büyük ebatlı grafik ağları üzerinde de performansını koruyabilmektedir.
- Daha esnek tahliye yolları oluşturabilme özelliğine sahiptir. Bir başka deyişle, bina içi koşullar değiştiğinde tahliye yollarının yeniden hesaplanmasının daha kolay olduğu söylenebilir.
- Daha iyi engel atlatma yöntemlerine sahiptir. Bina içerisinde oluşması muhtemel blokajlar ve hassasiyetler düşünüldüğünde, bu özelliğin önemi büyüktür.
- Çözüm yönteminde buluşsal yöntemler kullanılmaktadır.

Buluşsal yöntemlerin kullanılması, A* Algoritmalarının diğer algoritmalardan daha hızlı sonuç vermesini sağlamaktadır. Ancak, bunun için buluşsal yöntemlerde kullanılacak tahminlerin isabetli olması gerekmektedir. A* Algoritmaları buluşsal yöntemlerinde başlangıç ve hedef noktaları arasındaki mesafeye tahmini bir değer atayarak gerçek değeri belirlemektedir. Bu nedenle, grafik ağında başlangıç ve hedef noktaları biliniyorsa ve bu mesafe isabetli bir biçimde tahmin edildiyse, A* Algoritmaları en hızlı biçimde sonucu verecektir (Lester, 2005; Amit, 2010). Ancak,

daha önce de belirtildiği gibi, afet/acil durum yönlendirme sistemleri açısından milisaniyeler seviyesindeki zaman tasarruflarının katkıları çok ciddi ölçüde olmayacaktır. Ayrıca, buluşsal yöntemlerin kullanılmasının bazı olumsuz yönleri de vardır. Buluşsal yöntemlerde yapılacak tahminlerin hassas olması gerekmektedir. Eğer tahmin edilen mesafe değeri gerçek değerden büyükse, algoritma tutarlı sonuçlar üretemeyecek ve gerçekte EKY olmayan EKY sonuçları verecektir (Lester, 2005; Amit, 2010).

EKY Algoritmaları Performanslarının Kıyaslanması

Literatürde EKY algoritmalarının performanslarını kıyaslayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Gallo ve Pallottino, 1988; Cherkassky ve diğerleri, 1993; Zhan ve Noon, 1998). Buna rağmen, herhangi bir EKY algoritmasının diğerlerinden kesin olarak üstün olduğunu söyleyebilmek oldukça zordur (Zhan ve Noon, 1998). Bu nedenle, EKY algoritmalarının performanslarını kıyaslayan bulgularının her çeşit EKY probleminin çözümü için geçerli olabileceğini genellemek mümkün değildir. Benzer durum, bu bildiri kapsamında bahsedilen çalışmanın bulguları için de geçerlidir.

Farklı EKY algoritmalarının değerlendirilip kıyaslandığı en kapsamlı ve önemli çalışmalardan biri, Cherkassky ve diğerleri (1993) tarafından yapılan çalışmadır. Çalışma kapsamında 17 farklı EKY algoritması değerlendirilmiş ve bunların performansları birbirleriyle kıyaslanmıştır. Algoritmaların performansları, çözüm süresi ve doğruluk oranına göre değerlendirilmiştir. Her ne kadar çalışma bulgularının değişken olduğu ve her türlü EKY problemine uygulanamayacağı belirtilmiş olsa da, çalışma bulguları Dijkstra Algoritması'nın negatif ağırlıklı kenar içermeyen grafik ağları üzerinde en iyi performansı sergileyen algoritma olduğunu göstermektedir. Zhan ve Noon'un (1998) çalışmasında da, Cherkassky ve diğerlerinin (1993) çalışmasında incelenen 17 algoritmanın 15'i gerçek yol şebekeleri üzerinde tekrar test edilmiştir. Onların da bulguları, gerçek yol şebekelerinde EKY hesaplaması amacıyla Dijkstra Algoritması kullanılmasını işaret etmektedir. Buna karşılık, Dijkstra Algoritması dışındaki algoritmalarının kullanımını öneren az sayıda da olsa çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Golden (1976) belirli koşullar altında Bellman-Ford Algoritması performansının, Dijkstra'dan daha iyi olduğunu iddia etmektedir. Bu nedenle, EKY problemlerinin eşsizliği (birbirlerinden farklı oluşu) düşünülerek istenen sonuca göre değerlendirme ölçütleri belirlenmeli ve bu ölçütlere göre değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışma kapsamında afet/acil durum yönlendirme sistemlerinin ihtiyaçları düşünülerek altı adet ölçüt belirlenmiştir. Gerçek zamanlı bina içi afet/acil durum yönlendirme sistemlerinin ihtiyaçları olarak Ayhan ve diğerlerinin (2012) çalışmasında belirlenen ihtiyaçlar referans alınmıştır. Bu ölçütler ve ölçütlerin seçilme sebepleri bir sonraki bölümde verilmektedir.

EKY Algoritmalarının Kıyaslanmasında Kullanılacak Ölçütlerin Belirlenmesi

Binalarda afet/acil durum yönetimi faaliyetlerinde karşılaşılan EKY problemlerinin, binaların ve afet/acil durumların birbirlerinden farklı oldukları göz önünde bulundurulduğunda, her birinin kendine özgü problemler olduğu anlaşılmaktadır. Binaların grafik ağlarına göre en kısa tahliye yollarının hesaplanması sırasındaki yaklaşımlarla, gerçek yol şebekeleri için belirlenecek EKY hesaplarındaki yaklaşımlar birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bu nedenle, afet/acil durum yönlendirme

sistemlerinde ihtiyaç duyulan özellikler göz önünde bulundurularak, EKY algoritmalarını kıyaslama amacıyla altı adet ölçüt belirlenmiştir. Bu ölçütlerden bazıları genel ölçütler olup literatürdeki çalışmalardan alınmıştır. Bazıları ise, detayları Güven ve diğerlerinin (2012) çalışmasında verilen gerçek zamanlı bina içi afet/acil durum yönlendirme sistemleri için oluşturulmuş ve bu sistemlerde karşılaşılabilecek problemlerin çözümüne yönelik ihtiyaçların ışığında belirlenmiştir. Söz konusu ihtiyaçlar hakkındaki detaylar Ayhan ve diğerlerinin (2012) çalışmasında verilmektedir. Literatürdeki çalışmalardan elde edilen sonuçlar (Gallo ve Pallottino, 1988; Cherkassky ve diğerleri, 1993; Zhan ve Noon, 1998), belirlenen altı ölçütün ışığında değerlendirilmiştir. Daha sonra algoritmalar, bu değerlendirmenin ışığında birbirleriyle kıyaslanmıştır. "Önceden Belirlenen Noktalar Arasında Çalışma" ölçütü hariç, diğer bütün özellikler algoritma adına bir avantaj sağlamakta iken, söz konusu özelliğin mevcudiyeti algoritma seçimini olumsuz yönde etkilemektedir. Belirlenen ölçütler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- **Çözüm Süresi (Hızı):** Literatürdeki çalışmaların büyük bir çoğunluğunda, EKY algoritmalarının performansları problemi çözme sürelerine (hızlarına) göre değerlendirmiş ve kıyaslanmıştır (Gallo ve Pallottino, 1988; Cherkassky ve diğerleri, 1993; Zhan ve Noon, 1998). Bina içersinde mahsur kalan kişilerin tahliyesi ve acil durum müdahalesi sürecinde, zamanın ne kadar kritik bir unsur olduğu göz önüne alındığında, algoritma çözüm süresinin hangi algoritmanın seçileceğinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak atanması uygun olmaktadır.

- **Engel Atlatma:** Bazı algoritmalar esneklik ve engel atlatma açısından diğerlerinden üstündür. Afetler/acil durumlar sonrasında, bina içi ortamlarda bloke olan ve/veya hassaslaşan bölgeler oluşabilmektedir. Bina içersinde mahsur kalan kişilerin tahliyesi aşamasında, bloke olan ve/veya hassaslaşan bölgelere yönlendirilmeleri can kayıplarının ve yaralanmaların artmasına sebebiyet verebilecek mahiyette bir olgudur. Böyle durumlarda afet/acil durum yönlendirme sisteminin oluşturacağı tahliye yollarının söz konusu engelleri atlatması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada EKY algoritmalarının engel atlatma kabiliyeti önemli bir seçim ölçütü olarak belirginleşmektedir.

- **EKY Elde Etme Garantisi:** Afetlerden/acil durumlardan etkilenmiş binalarda mahsur kalan kişilerin bir an evvel tahliye edilmesi, bu kişileri oluşması muhtemel ardışık tehlikelerin etkilerinden koruyacaktır. Bir başka deyişle, afetler/acil durumlar sonrası bina içindekilerin en kısa yollar kullanılarak en hızlı şekilde güvenli bölgelere tahliye edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, tahliye sırasında kişileri daha uzun tahliye yollarıyla oyalamayacak ve koşullar ne olursa olsun mümkün olan en kısa yolu hesaplayacak algoritmalara ihtiyaç vardır.

- **Önceden Belirlenen Noktalar Arası Çalışma:** Bazı EKY algoritmalarının (örneğin A* Algoritması) çalışması için grafik ağı üzerinde başlangıç ve hedef noktalarının önceden bilinmesi ve algoritmaya aktarılması gerekmektedir. Ancak, bu noktaları önceden bilmek her zaman mümkün olmayabilmekte veya bu noktalar bina içi koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin, belirlenen hedef noktası (tahliye amacı düşünüldüğünde bu binanın çıkış noktasıdır) bloke olduğunda, bu durum algoritmanın çalışma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, başlangıç ve hedef noktalarının

harici olarak aktarılmasına ihtiyaç olmayan algoritmalar tercih edilmektedir. Böylece, algoritmanın bina içi koşullarından bağımsız olarak tahliye yollarını belirlemesi sağlanabilecektir.

- **Güvenilirlik:** EKY değerlendirmelerinde önem verilen bir diğer ölçüt de algoritma sonuçlarının güvenilirliğidir. Bazı koşullar altında, EKY algoritmalarının isabetli ve/veya tutarlı sonuçlar vermekte zorlandığı gözlemlenmektedir. Örneğin, Dijkstra Algoritması grafik ağlarında negatif ağırlıklı kenarların bulunması halinde tutarlı sonuçlar vermemektedir (Marcus, 2008). Afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde duyulan ihtiyaçlar göz önünde bulundurulduğunda, algoritmanın güvenilirliği önemli bir ölçüt olarak belirginleşmektedir.

- **Buluşsal Yöntemlerin Kullanılması:** Algoritmaların çözüm sürelerinin iyileştirmesi açısından buluşsal yöntemlerin kullanılması avantaj sağlayabilecek niteliktedir (Lester, 2005; Amit, 2010). Bu kapsamda, buluşsal yöntemleri kullanan algoritmaların çözüm süresi açısından daha iyi sonuç vereceği düşünülmekle birlikte, milisaniyeler mertebesindeki bu iyileştirmenin ciddi bir katkı sağlamayacağı hususu da ayrıca dikkate alınmalıdır.

Belirlenen Ölçütlere Dayanarak İncelenen EKY Algoritmalarının Kıyaslanması

Yukarıda belirlenen ölçütlerin ışığında incelenen EKY algoritmalarının kıyaslaması Tablo 1'de sunulmaktadır. Tablodan da görüleceği üzere, çözüm süresi ölçütü "Yeterli" ve "Yeterli Değil" şeklinde değerlendirilmiştir. Bu ölçütün haricinde, EKY algoritmaları sahip oldukları "Engel Atlatma", "EKY Elde Etme Garantisi", "Önceden Belirlenen Noktalar Arası Çalışma", "Güvenilirlik", "Buluşsal Yöntemlerin Kullanılması" özelliklerine göre, "Evet" veya "Hayır" değerleriyle kıyaslanmışlardır. Tabloda da belirtildiği üzere, A* Algoritması çözüm süresi açısından kıyaslandığı diğer algoritmalardan daha üstündür (Yeterli*). Dijkstra ve Bellman-Ford Algoritmalarının bu çalışma kapsamında hazırlanacak grafik ağları üzerinde en kısa yol elde etme garantisi vermesinin mümkün olduğu Tablo 1'den anlaşılmaktadır. Ancak, normal şartlarda hiçbir EKY algoritmasının %100'lük bir oranla bu garantiyi veremeyeceği hususu da unutulmamalıdır.

Tablo 1. En Kısa Yol Algoritmalarının Belirlenen Ölçütlere Göre Kıyaslanması

Ölçütler	Prim Algoritması	Dijkstra Algoritması	Bellman-Ford Algoritması	A* Algoritması	Kaynak
Çözüm Süresi (Hızı)	Yeterli	Yeterli	Yeterli	Yeterli*	Gallo ve Pallottino (1988), Cherkassky ve diğerleri (1993), Zhan ve Noon (1998), Amit (2010)
Engel Atlatma	Hayır	Evet	Evet	Evet	Marcus (2008), Gross ve Yellen (2006), Lester (2005)
EKY Elde Etme Garantisi	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Marcus (2008), Gross ve Yellen (2006), Cormen ve diğerleri (2009), Amit (2010)
Önceden Belirlenen Noktalar Arası Çalışma	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Marcus (2008), Gross ve Yellen (2006), Cormen ve diğerleri (2009), Lester (2005)

Güvenilirlik	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Marcus (2008), Gross ve Yellen (2006), Cormen ve diğerleri (2009), Amit (2010)
Buluşsal Yöntemlerin Kullanılması	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Lester (2005), Amit (2010)

Yapılan Kıyaslama Sonucunda Kullanılması Önerilen EKY Algoritmasının Seçimi

Tablo 1'de özetlenen değerlendirme sonucunda; Prim Algoritması'nın kıyaslanan diğer algoritmalara göre daha zayıf olduğu görülmüştür. Dijkstra ve Bellman-Ford algoritmaları arasındaki kıyaslama ise, her iki algoritmanın performanslarının birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi, bu iki algoritma arasındaki tek fark, Bellman-Ford Algoritması'nın negatif ağırlıklı kenarlar içeren grafik ağlarında da tutarlı sonuçlar verebilmesidir. Grafik ağları oluşturulurken belirlenecek kenarların maliyetleri (ağırlıkları), mesafe cinsinden olacağı ve negatif değer alamayacağı için, literatürde daha sık kullanılan Dijkstra Algoritması yerine Bellman-Ford Algoritması'nın tercih edilmesine gerek yoktur.

A* Algoritmalarının çözüm süresi, buluşsal yöntemlerin kullanılması ve daha etkin engel atlatma mekanizmalarına sahip olduğu düşünüldüğünde diğer algoritmalardan daha iyi performans vereceği düşünülebilir. Ancak, A* Algoritmalarının önceden belirlenen noktalar arasında çalışmasından kaynaklanan dezavantajı ve çalışma koşulları altında EKY elde etme garantisi verememesi göz önünde bulundurulması gereken önemli eksikliklerdir.

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, afet/acil durum yönlendirme sistemleri için kurulacak grafik ağları ve karşılaşılacak EKY problemlerinin çözümünde Dijkstra Algoritmasının tercih edilmesi önerilmektedir.

Sonuçlar

Çalışma kapsamında, literatürde EKY problemlerinin çözümü için en sık kullanılan EKY algoritmalarının; (1) Prim, (2) Dijkstra, (3) Bellman-Ford ve (4) A* Algoritmaları oldukları belirlenmiştir. Belirlenen bu algoritmaların özellikleri, performansları, çalışma koşullarına göre sağladıkları avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Daha sonra afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde ihtiyaç duyulacak özellikler göz önünde bulundurularak incelenen EKY algoritmalarının sağlaması gereken altı adet ölçüt belirlenmiş ve algoritmalar bu ölçütlere göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda söz konusu dört EKY algoritması birbirleriyle afet/acil durum yönlendirme sistemleri düşünülerek kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, afet/acil durum yönlendirme sistemlerinde tahliye yollarının belirlenmesi sırasında karşılaşılacak EKY problemlerinin çözümü için Dijkstra Algoritmasının kullanılması önerilmiştir. Dijkstra Algoritması kullanılarak afetler/acil durumlar sonrası bina içindekilerin tahliyesi ile acil müdahale ekiplerinin bina içerisinde yönlendirilmesini hedefleyen sistemler geliştirilebilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenen 109M263 nolu "Binalarda Çeşitli Tehlikelerin Yarattığı Acil Durumlar İçin Eş Zamanlı Hasar Tespit, Yerel Tahliye, Yönlendirme ve Yönetim Modeli" başlıklı EVRENA projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, TÜBİTAK'ın sağladığı desteğe teşekkür ederler.

Kaynaklar

Amit, J. P. (2010). Amit's A* Pages. http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/. Erişim Tarihi: 29 Haziran 2012.

Ayhan M., Güven, G., Ergen, E., Erberik M. A., Kurç, O. ve Birgönül, M. T. (2012). "Requirements of Indoor Navigation during Emergency Response and Disaster Management", XXXVIII IAHS World Congress on Housing, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 45-52.

Black, P.E. (2005). Shortest Path, U.S. National Institute of Standards and Technology, http://www.itl.nist.gov/div897/sqg/dads/HTML/shortestpath.html. Erişim Tarihi: 29 Haziran 2012.

Cherkassky, B. V., Goldberg, A. V. ve Radzik, T. (1993). "Shortest Path Algorithms: Theory and Experimental Evaluation", Math. Programming, No. 73, 129-174.

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest R. L. ve Stein, C. (2009). "Section 23.2: The algorithms of Kruskal and Prim", Introduction to Algorithms, T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest ve C. Stein (Editörler), MIT Press, USA, 631-638.

Eppstein, D. (1994). "Finding the k Shortest Paths", IEEE, Proceedings of 35th Symposium on Foundations of Computer Science, Institute of Electrical & Electronics Engineers, November, 154–165.

Gallo, G. ve Pallottino, S. (1988). "Shortest Path Algorithms", Annals of Operations Research, Vol. 13, 3-79.

Golden, B. (1976). "Shortest Path Algorithms: A Comparison", Operations Research, Vol. 24, No. 6, 1164-1168.

Gross, J.L. ve Yellen, J. (2006). Graph Theory and Its Applications, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Güven, G., Ergen, E., Erberik, M. A., Kurç, O. ve Birgönül, M. T., (2012). "Providing Guidance for Evacuation During Emergency Based On A Real-Time Damage and Vulnerability Assessment of Facilities", Proceedings of the 2012 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, Florida, USA, 586-593.

Ivin, A. M., Alias, A. R. ve Coors, V. (2008). "Implementing 3D Network Analysis in 3D-GIS." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, Part B2, 913-918.

Karaş, İ. R. (2007). "3B CBS'de Ağ Analizlerine Yönelik Coğrafi Veritabanının Otomatik Olarak Üretilmesi", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 335-341.

Lee, J. (2007). "A Three-Dimensional Navigable Data Model to Support Emergency Response in Microspatial Built-Environments", Annals of the Association of American Geographers, Vol. 97, 512-529.

Lester, P. (2005). A* Pathfinding for Beginners, http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial.htm. Erişim Tarihi : 29 Haziran 2012.

Marcus, D.A. (2008). Graph Theory: A Problem Oriented Approach, The Mathematical Association of America, Washington, DC, USA.

Meijers, M., Zlatanova, S. ve Pfeifer, N. (2005). "3D Geo-Information Indoors: Structuring for Evacuation", Proceedings of Next Generation 3D City Models, Bonn, Germany, 11-16.

Park, L. ve Lee, J. (2008). "Defining 3D Spatial Neighborhoods for Topological Analyses Using a 3D Network-Based Topological Data Model – CA-Based Evacuation Simulation", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, Part B2, 305-310.

Richter, K.F. ve Klippel, A. (2005). "A Model for Context-Specific Route Directions", Spatial Cognition 4. Reasoning, Action, and Interaction: International Conference Spatial Cognition 2004, Frauenchiemsee, Germany, 58-78.

Yuan, L. ve Zizhang, H. (2008). "Indoor Navigation: A Framework of Combining BIM with 3D GIS", Proceeding of 44th ISOCARP Congress, Dalian, China,

Zhan, F. B. ve Noon, C. E. (1998). "Shortest Path Algorithms: An Evaluation Using Real Road Networks", Transportation Sciences, Vol. 32, 65-73.