

## İç mekân navigasyonu ağ modelleri: Karşılaştırmalı bir inceleme

Atakan Bilgili<sup>1\*</sup>, Alper Şen<sup>1</sup>, Melih Başaraner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul.

**Öz:** Günümüzde açık alanlarda kullanılan navigasyon uygulamaları oldukça yaygındır. İç mekânlarda ise bu durum herkes tarafından kabul görmüş standart bir konumlama donanımının kullanılmaması, daha yüksek maliyet, doğruluk sorunları, iç mekânın yapısının dış mekânlara kıyasla karmaşıklık göstermesi ve iç mekân navigasyonunu kat düzeyi ve katlar arası düzeyde destekleyecek kapsayıcı ağ modelleri ve rota hesaplamalarına yönelik çalışmaların yeterince olgunlaşmamış olması nedeniyle henüz gelişme aşamasındadır. İç mekânların standart olmayan yapısına bağlı olarak karmaşıklık derecesinin değişkenlik göstermesi ve iç mekân içerisindeki hareket kabiliyetinin geniş bir spektrumda olması nedeniyle farklı navigasyon ağ modelleri oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada literatürde öne çıkan Orta Eksen Dönüşümü (OED) tabanlı ağ modelleri ve eş görünüm alanları teorisinden yararlanarak geliştirilen Görünürlük Çizgesi (GÇ) tabanlı ağ modeli, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi binasına ilişkin kat planları kullanılarak üretilen yapı bilgi modeli üzerinde uygulanmış, alt koridorlar arasında görüş alanı sınırlaması getirilerek GÇ ve OED kombinasyonu ile yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Elde edilen modellerin kullanılabilirlikleri en kısa mesafe ve rotalar üzerinden yapılan dönüş sayısı kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmaya ilişkin bulgular, literatürde insan algısı ile ilişkili olduğu gösterilen GÇ'nin karşılaştırılan rotalar için en yakın ağ modeline göre mesafelerin ortalama 1.17 m kısalmasını ve dönüş sayılarının 0.20 kez azalmasını sağladığını göstermiştir. İstatistiksel test sonuçları, önerilen hibrit yöntemin GÇ'den anlamlı bir şekilde farklılaşmadığını ve çeşitli senaryolar için GÇ tabanlı ağ modeli yerine kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler:** İç mekân navigasyonu, Navigasyon ağ modeli, Orta eksen dönüşümü, Görünürlük çizgesi, Yapı bilgi modellemesi

### Indoor navigation network models: A comparative investigation

**Abstract:** Nowadays, the use of outdoor navigation applications is quite common. For indoor navigation, this case is still an emerging application due to the lack of use of a standardised positioning equipment, higher costs, accuracy issues, the more complex structure of indoor spaces and the fact that a comprehensive network model to support indoor navigation for floor-level paths and non-level paths and the studies on the computation of routes are not fully developed yet. Due to the degree of complexity of indoor spaces vary depending on the non-standard structures of buildings and the freedom of movement capability is in a wide spectrum, different navigation networks can be generated. In this study, the Medial Axis Transform (MAT) based methods and the Visibility Graph (VG) based network model that originates from isovists theory which are the prominent navigation network models in the literature are generated in the building information modelling of Yıldız Technical University Civil Engineering Faculty building by utilizing the two-dimensional floor plans of the building and a new approach is proposed based on the VG model by restricting the line of sight between sub-corridors of indoor space and combining it with the MAT. The usability of these navigation network models is compared in terms of the shortest distance and the fewest turns made on the route. The findings of the experimental study showed that the VG based network model which is shown in previous studies to be correlated with human perception enables a mean of 1.17 m shorter distances and 0.20 times fewer turns than the compared routes compared to closest network model. The statistical tests demonstrated that the proposed hybrid approach does not differ significantly from VG thus can be used instead of VG based model for various scenarios.

**Keywords:** Indoor navigation, Navigation network model, Medial axis transform, Visibility graph, Building information modelling

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 212 383 53 45

Geliş Tarihi/Received: 31.05.2021  
Kabul Tarihi/Accepted: 11.10.2021



0000-0002-8763-5716, atakanb@yildiz.edu.tr (Bilgili A.)\*  
0000-0002-7236-6701, alpersen@yildiz.edu.tr (Şen A.)  
0000-0002-4619-7801, mbasaraner@yildiz.edu.tr (Başaraner M.)

## 1. Giriş

Endüstri 4.0 çağı ile gelen uygulamalar, karakteristik nesnelere akıllı nesnelere dönüştürerek, esneklik ve verimlilik sağlamaktadır (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017). Endüstri 4.0 temel anlamda, nesnelere interneti (Internet of Things, IoT) ve nesnelere yaşam döngüsünü içeren bulut bilişim ile akıllı şehirler oluşturmayı hedeflemektedir. Akıllı bina kavramı ise akıllı şehirler için bir prototip niteliğinde olup, akıllı şehirleri oluşturan başlıca unsurlardandır. Navigasyon ise gündelik yaşamda sıklıkla kullanılan ve akıllı şehirlerde ulaşım sistemleri için bir gerekliliktir. Akıllı binalarda ise bu gereksinim çeşitli sensörler yardımıyla sağlanabilmektedir.

Navigasyon gidilmek istenen hedefe en kısa ve en hızlı şekilde ulaşmamız için en uygun yolu gösteren bir sistem olarak tanımlanabilir. Günümüzde dış alanlarda kullanılan navigasyon uygulamaları ise oldukça yaygındır. İç mekânlarda ise bu durum herkes tarafından kabul görmüş standart bir konumlama donanımının kullanılmaması, daha yüksek maliyet, doğruluk sorunları, iç mekânın yapısının açık mekânlara kıyasla karmaşıklık göstermesi ve iç mekân navigasyonunu kat düzeyi ve katlar arası düzeyde insanların iç mekân içerisindeki yön bulma algısını destekleyecek kapsayıcı ağ modelleri ve rota hesaplamalarına yönelik çalışmaların yeterince olgunlaşmamış olması nedeniyle henüz gelişme aşamasındadır (Fallah, Apostolopoulos, Bekrih, & Folmer, 2013; Giudice, Walton, & Worboys, 2010; Lin & Lin, 2018; Vanclooster vd., 2019).

Dış alanlar için kullanılan navigasyon uygulamalarında global konumlama sisteminin (Global Positioning System, GPS) sağladığı konum doğruluğu, kapsama alanı ve dış alanların cadde ağlarıyla çevrili standart yapısının kullanımını ve uygulanmasını kolaylaştırmaktadır (Mast, Jian & Zhekova, 2012); ancak iç mekânların kapalı ve değişkenlik gösteren yapısı sebebiyle açıkça belirli rotaların bulunmaması ve iç mekânlarda GPS'in kullanılmaması nedeniyle farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir (Koyuncu & Yang, 2010; Mast vd., 2012; Puertolas Montanes, Mendoza Rodriguez, & Sanz Prieto, 2013; Rüetschi & Timpf, 2005). İç mekânlar için GPS'in yerini alabilecek çeşitli iç mekân konumlama sistemleri çalışmaları geliştirilmiştir; ancak tam anlamıyla tatmin edici bir sistem henüz geliştirilememiştir (Chen & Clarke, 2020). Geliştirilen yöntemlerde öne çıkan sistemler radyo frekansı ile tanımlama (Radio-Frequency Identification, RFID), kablosuz yerel alan ağı (Wireless Local Area Network, WLAN), Bluetooth, kızılötesi (Infrared, IR), ultra geniş bant (Ultra Wide Band, UWB), yakın alan iletişimi (Near Field Communication, NFC) gibi teknolojiler yardımıyla geliştirilen iç mekân konumlama sistemleridir (Li, Chang, Wong, & Skitmore, 2016). Bu sistemlerin gelişmesine bağlı olarak iç mekân navigasyonu; alışveriş merkezleri, havaalanları, kompleks binalar gibi yapılarda ziyaretçilerin yönlendirilmesi, acil durum yönetimi, tesis yönetimi, iç mekânda engelli bireylerin yönlendirilmesi gibi uygulama alanlarında kendisine yer edinmiştir (Choi & Lee, 2009; Gunduz, Isikdag, & Basaraner, 2016; Knoth, Mittlböck, Vockner, Andorfer, & Atzl, 2019; Kwan & Lee, 2005; Park, Golderg, & Hammond, 2020).

İç mekân navigasyonu; (1) navigasyon amaçlı iç mekân modellenmesi, (2) iç mekânda konumlama ve yer tespiti (3) iç mekân rotalarının planlanması ve hesaplanması, (4) iç mekânda yönlendirme ve (5) iç mekânda yön bulma olmak üzere beş ana bölümde toplanabilir (Liu, Li, Zlatanova, & Oosterom, 2021; Zlatanova, Liu, & Sithole, 2013). İç mekânda konum belirleme üzerine çalışmaların belirli bir aşamaya gelmesiyle beraber çalışmaların odağı, navigasyon rotalarının insan bilişine uygun olarak planlanması/hesaplanması ve iç mekânda yayaları sesli, yazılı veya grafiksel tarifler ile yönlendirme konuları üzerine kaymıştır.

Son yıllarda iç mekânın modellenmesi ve navigasyon rotalarının oluşturulmasını desteklemek amacıyla mekânsal veri kaynağı olarak Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) yoluyla üretilen üç boyutlu (3B) bina modellerinin ya da bu modeller yoluyla elde edilen iki boyutlu (2B) kat planlarının kullanımı öne çıkmaktadır. YBM'de benimsenmiş olan buildingSMART

tarafından oluşturulan endüstri temel sınıfları (Industry Foundation Classes, IFC) (URL-1) şeması ile iç mekân, duvarlar, zemin ve kapı gibi bina bileşenlerine ait geometrik bilgiler ve bina bileşenlerinin birbirleri ile ilişkilerini ifade eden semantik bilgiler elde edilebilmekte ve bu veriler yardımıyla oluşturulan iç mekân üzerinde navigasyon ağ modelleri oluşturulabilmektedir (Isikdag, Zlatanova, & Underwood, 2013; Li & Lee, 2008; Yang & Worboys, 2015). Dış mekânlar için kullanılan navigasyon sistemlerinde cadde ve yol ağlarının düzenli yapıda olması sebebiyle kullanılan navigasyon ağ modellerinin çok çeşitli karmaşıklık düzeylerine sahip iç mekânlara doğrudan uygulanması mantıklı değildir (Ohm, Müller, & Ludwig, 2015). Bu nedenle, genel kabul görmüş bir navigasyon ağ modeli bulunmamaktadır. İç mekânı ifade etmek için kullanılan ağ modelleri çeşitli alt sınıflara ayrılmıştır. Afyouni, Ray ve Christophe (2012) navigasyon ağ modellerini “Geometrik tabanlı yaklaşımlar” ve “Çizge tabanlı yaklaşımlar” olarak iki alt sınıfa ayırmıştır. Geometrik tabanlı yaklaşımlar yüksek konum doğruluğu sağlarken, saklama alanı ve verimlilik açısından dezavantaj sağlamaktadır, çizge tabanlı yaklaşımlarda ise konum doğruluğu geometrik tabanlı yaklaşımlara kıyasla düşüktür; ancak semantik bilgiler elde edilebilmekte ve yeterli miktarda geometrik bilgi sağlamaktadır (Afyouni vd., 2012; Lin W.Y. & Lin P.H., 2018). Grafik tabanlı yaklaşımlarda iç mekânlar genellikle topolojik bir ağ olarak düğüm noktaları ve kenarlar ile ifade edilmektedir. İç mekân ağırlık merkezleri rotaların başlangıç ve bitiş noktaları, kenarlar ise yayaların navigasyon ağları üzerindeki seyahat rotalarını ifade etmektedir. Çizge tabanlı yaklaşımlar ise kendi arasında çeşitli alt bölümlere ayrılmaktadır. İç mekânın yerleşim planı esas alınarak düğüm noktalarının ve rotaları oluşturan kenarların elde edildiği navigasyon modelleri geometrik/topolojik modeller ve görünürlük bölümlendirmesi olarak ikiye ayrılmaktadır (Lee J.K., Eastman, Lee J., Kannala, & Jeong, 2010; Pang, Zhou, Lin, Lv, & Zhang, 2020; Yang & Worboys, 2015; Zlatanova, Liu, Sithole, Zhao, & Mortari, 2014). İlk kategori genellikle hesaplamalı geometri ilkelerini kullanmakta ve iç mekânın orta eksenine odaklanarak Orta Eksen Dönüşümü (OED) ile (Lee, 2004; Mortari, Zlatanova, Liu, & Clementini, 2014) iç mekânları yapısına bağlı olarak geometrik ağ modellerine dönüştürmektedir (Pang vd., 2020). Basit iç mekânlar için bu yöntemler iyi sonuç verse de karmaşık iç mekânlar ve düz olmayan koridorlarda gereksiz düğüm noktaları ve kenarların oluşumuna sebep olmaktadır (Yang & Worboys, 2015), ayrıca OED yöntemleri ve hesaplamalı geometri ilkelerine dayanan üçgenleme esaslı diğer yöntemler tamamen yapının geometrik özelliklerine odaklandığından yayaların iç mekândaki yön bulma algısını kolaylaştıran yer bulma işaretlerini dikkate almamaktadır. İkinci kategori ise Benedikt (1979) tarafından geliştirilen eş görünüm alanları esas alınarak oluşturulan Görünürlük Çizgesi (GÇ) tabanlı navigasyon ağlarıdır. Birbiri tarafından görülebilen tüm düğüm noktalarının birleştirilmesi ile meydana gelen bu ağ modelleri yayaların mekân içindeki yön bulma algısı ile ilişkili bir ağ modelidir (Kneidl, Borrmann, & Hartmann, 2012; Stoffel, Lorenz, & Ohlbach, 2007). Bununla birlikte, birbirini görebilen tüm düğüm noktaları birbirleri ile en kısa yolu oluşturacak şekilde birleştirildiğinden özellikle düz ve uzun koridorlar için gereksiz rotaların oluşumuna neden olabilmektedir.

Yayaların iç mekân içerisinde yönlendirilmesinde kullanılan navigasyon modelleri olabildiğince sade ve etkili olmalıdır, bunun yanında iç mekânı temsil eden düğüm noktaları, iç mekân içerisinde yayaların mekân içerisinde kolayca fark edebileceği noktalardan oluşmalıdır (Yang & Worboys, 2015). Bu kapsamda etkililik bakımından yapılan çalışmalar en kısa mesafeye odaklanmakta ve çoğunlukla Dijkstra (1959) en kısa mesafe algoritmasını kullanmaktadır. Fakat, en kısa mesafeyi oluşturan rotalar çoğunlukla insan algısıyla uyumlu olmamaktadır. Bu rotalar karmaşık ve yayaların kendini rota içerisinde konforlu hissetmediği rotalardan oluşabilmektedir (Müller, Ohm, Schwappach, & Ludwig, 2017). Sadelik açısından ise navigasyon rotaları üzerinde yapılan dönüş sayısı önem kazanmaktadır (Vanclooster vd., 2019). Navigasyon ağlarının etkili ve olabildiğince sade olması yayaların bilişsel yükünü azaltmakta ve mekâna dair bilişsel haritaların oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda en uygun navigasyon ağ modelinin bulunması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Lee (1982) yaptığı çalışmada hesaplamalı geometri ilkelerini kullanarak verilen bir düzlemsel şeklin köşe noktalarından eşit uzaklıkta bulunan noktaları esas alarak düzlemsel şekillerin orta eksenini elde etmiş ve bulunduğu yönteme OED adını vererek

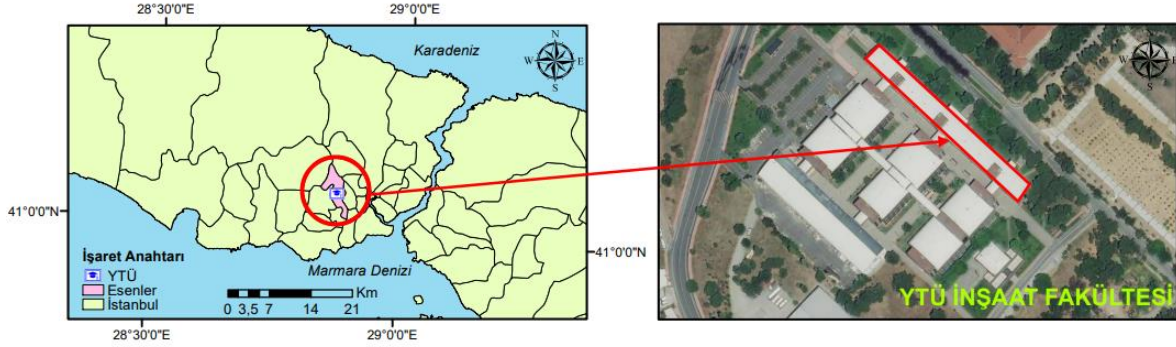
bu alanda yapılan çalışmalara öncülük etmiştir. Lee (2004) yaptığı çalışmada OED yönteminde oluşan kıvrılmış kenarları yok ederek Düz Orta Eksen Dönüşümü (D-OED) yöntemini bulmuştur. Taneja, Akinci, Garrett, Soibelman ve East (2011) yaptıkları çalışmada D-OED dönüşümünün karmaşık koridorlarda kenarları oluşturamama sorununu çözerek Modifiye Orta Eksen Dönüşümü yöntemini (M-OED) sunmuşlardır. Turner, Doxa, O'sullivan ve Penn (2001), Benedikt (1979)'in eş görünüm alanlarını kullanarak GÇ yöntemini geliştirmişlerdir. Lee vd. (2010) yaptıkları çalışmada YBM ile elde ettikleri iç mekânlar üzerinde, yayaların en kısa, basit ve görünür rotaları tercih ettiklerini esas alarak iç mekân içerisinde bir tampon bölge oluşturmuş, kapıları temsil eden düğüm noktalarını bu tampon bölgeye taşıyarak, koridorların dış bükey köşe noktaları ile kapı düğüm noktaları arasında birbirlerini gören en kısa kenarları oluşturacak navigasyon ağını oluşturarak yayaların yürüme mesafelerini hesaplamışlardır. Kneidl vd. (2012) yaptıkları çalışmada, mikro düzeyde yaya trafiğinin simüle edilmesi amacıyla GÇ tabanlı ağı, dışbükey köşelerden belirli mesafelerde düğüm noktalarını oluşturarak olabildiğince sadeleştirip GÇ'nin bir alt kümesini elde etmiş ve elde ettikleri seyrek GÇ ile hesaplama verimliliğinin artmasına katkıda bulunmuşlardır. Chen ve Huang (2015) yaptıkları çalışmada yapı bilgi modeli üzerinde afet anında bina tahliyesini desteklemek amacıyla OED ve GÇ yöntemlerini bütünleştirerek hibrit bir yöntem sunmuş, büyük ölçekli tahliye senaryolarında OED ve GÇ'nin bütünleştirilmesinin tahliye süresini kısalttığını göstermiştir. Pang vd. (2019) yaptıkları çalışmada iç mekân içerisinde koridorlarda yayaların karar verme noktalarını dikkate alarak koridorları görünürlük alanlarına bölümlendirmiş, üç farklı düğüm noktası türü tanımlayarak yayaların iç mekândaki görünürlük haritalarına göre navigasyon ağını oluşturmuşlardır. Park, Goldberg ve Hammond (2020) etkili ve sade rotaların oluşumuna olanak sağlayan navigasyon ağ modelini bulmak amacıyla yaptıkları çalışmada literatürde en çok kullanılan çeşitli algoritmaları esas alarak verilen yapı bilgi modelini coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile entegre etmiş, çalışmalarında bu algoritmaları en kısa mesafe ve rota üzerinde yapılan dönüş sayısı bakımından karşılaştırmış, etkililik ve sadelik açısından en uygun algoritmanın GÇ tabanlı ağlar olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada kat planları yardımıyla üretilen yapı bilgi modeli, CBS ortamına aktararak literatürde öne çıkan OED tabanlı ağ modelleri ve eş görünüm alanlarından yararlanarak geliştirilen GÇ tabanlı ağ modeli oluşturularak bu modellerin kullanılabilirlikleri en kısa mesafe ve rota üzerinde yapılan dönüş sayıları bakımından karşılaştırılmış, ayrıca iç mekân içerisinde yayaların yön bulma algısını iç mekânı alt bölümlere ayırarak oluşturduğu dikkate alınarak görüş alanı alt koridorlar bazında sınırlandırılmış ve OED ile bütünleştirilmiş Kısıtlanmış Görünürlük Çizgesi (KGÇ) tabanlı ağ modelinin yayaların algısına uygun bir model oluşturacağı düşünüldükten yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yöntemin diğer ağ modelleriyle en kısa mesafe ve rota üzerinde yapılan dönüş sayısı kriterine göre anlamlı bir fark olup olmadığı tek yönlü ANOVA testi (Fisher, 1921) ile incelenmiştir.

## 2. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, YTÜ Yapı Daire Başkanlığı tarafından uygulama projesi çizilen 2008 yılına ait İnşaat Fakültesi kat planları arasından Harita Mühendisliği Bölümü idari birimlerince kullanılan A blok zemin katı çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı, yaklaşık 1550 m<sup>2</sup> olup, yaklaşık 70 × 22 m boyutlarında dar ve uzun bir koridor ve yaklaşık 22 × 10 m boyutlarında geniş ve kısa bir koridordan oluşmaktadır. Dar ve uzun olan koridor görüş alanını yüksek kılmakta; ancak GÇ'nin oluşumunda rotaların dar bir alanda bir yığın olarak toplanmasına neden olacak bir şekilsel yapıya sahiptir. Geniş ve kısa koridor ise ortak kesişim alanı hariç görüş alanını kısıtlayan bir yapıdadır. İç mekânlar karşılıklı simetrik bir yapıda ve klasik bir ofis odası yapısında düzenli dikdörtgenler biçimindedir. Koridor köşelerine denk gelen iç mekânlar taşıyıcı kolonlar nedeniyle diğer iç mekânlara oranla düzensiz yapıdadır. İç mekânlar, orta eksen üzerinde birer düğüm noktası ile temsil edildiğinden taşıyıcı kolonların bulunduğu odalar, uygulamayı zorlaştırıcı niteliktedir. Bölüm Başkanlığı odaları ve toplantı salonu, diğer odalardan farklı olarak daha geniş bir dikdörtgensel şekle sahip olup, kendi aralarında geçiş sağlayan kapılardan oluşmaktadır. Kat planları bir uygulama projesine ait olduğundan oldukça ayrıntılı bir yapıdadır ve iç mekân navigasyon

ağlarının oluşumuna esas teşkil edecek olan duvar, kapı, kolon ve döşeme gibi detaylar haricindeki bileşenlerin kat planlarından elenmesi gerekmektedir. Uygulamada kullanılan zemin kata ilişkin kat planında 30 farklı katman bulunmaktadır ve her bir bina bileşeni, ölçüleri ve malzeme detaylarıyla birlikte gösterilmiştir. Bu husus, iç mekân modellenmesinin ve oluşturacak navigasyon rotalarının performansını düşürecek niteliktedir.



Şekil 1: Çalışma alanı

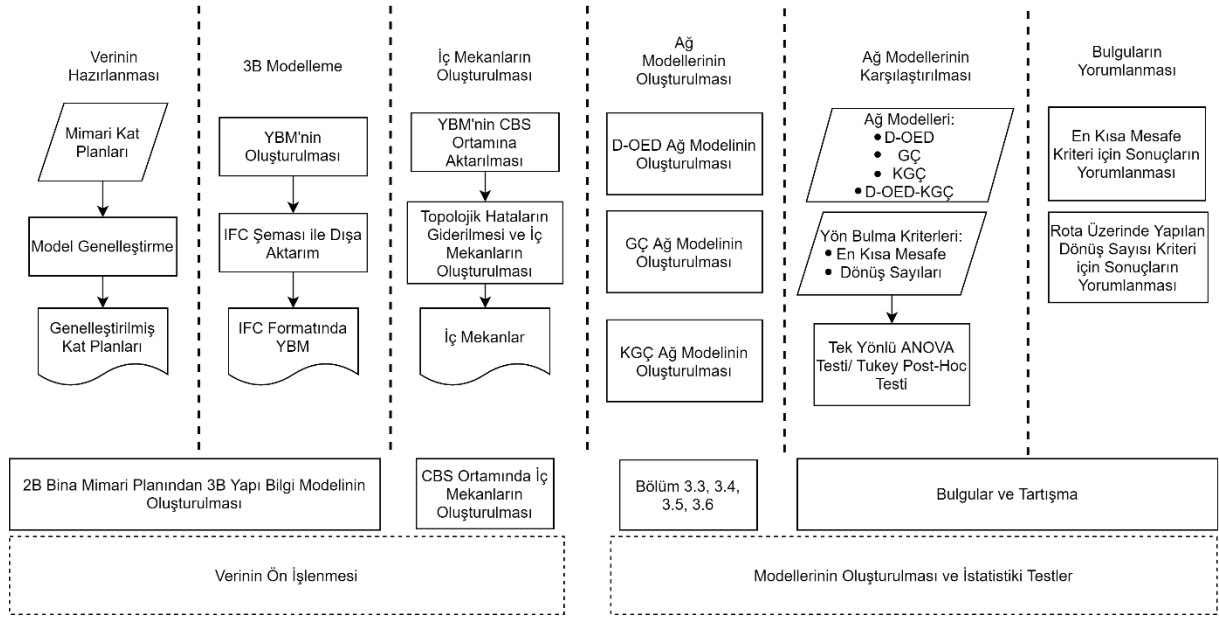
### 3. Yöntem ve Uygulama

Çalışmadaki temel amaç, yayaaların iç mekân içerisindeki yön bulma algısına uygun yeni bir navigasyon ağ modeli yaklaşımını sunmaktır. Bu amaçla navigasyon ağ modellerinin oluşturulması için sağladığı ayrıntılı geometrik veriler ile önem taşıyan YBM mekânsal veri kaynağı olarak tercih edilmiş ve veri ön-işleme adımları ile ağ modellerinin CBS ortamında oluşturulmasına altlık oluşturmuştur.

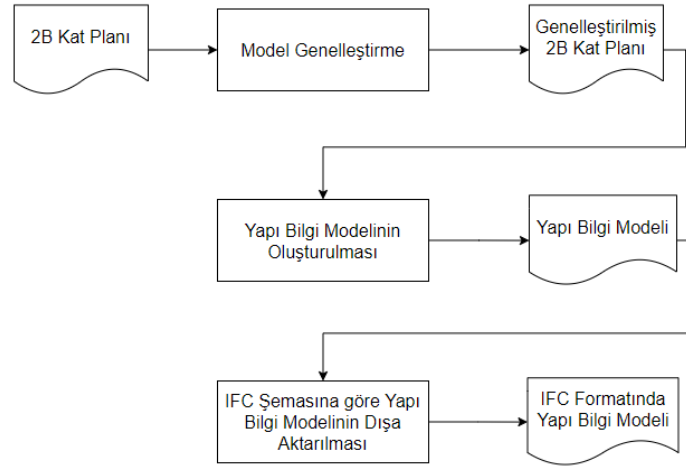
Literatürde iç mekân navigasyonu ağ modellerinin oluşturulması açısından çeşitli yaklaşımlar bulunmakta ve her bir yöntemin bir diğerine çeşitli açılardan avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde karmaşık şekilli bir koridor bulunmadığından Lee (2004) tarafından geliştirilen D-OED yöntemi ve yayaaların iç mekân içerisindeki görsel algısı ile yakından ilişkili olan Turner vd. (2001) tarafından geliştirilen GÇ tabanlı ağ modeli çalışmada karşılaştırmada kullanılacak temel yöntemler olarak belirlenmiştir. Bu yöntemlere ek olarak çeşitli senaryolar için alternatif olarak KGÇ tabanlı yeni bir navigasyon ağ modeli önerilmiş ve bu model literatürde öne çıkan navigasyon ağ modeli yöntemleri ile çeşitli yön bulma kriterleri bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmanın genel iş akışı Şekil 2’de verilmiştir. Bölüm 3’te ise adımların her birine özgü işlemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

#### 3.1 2B Bina Mimari Planından 3B Yapı Bilgi Modelinin Oluşturulması

YBM, yapıların fiziksel ve işlevsel özelliklerini bir arada barındıran, bir projenin tüm yaşam döngüsünün (planlama, dizayn, yapım, yönetim ve bakım) tamamlanmasına kadar olan süreçte IoT, bulut bilişimi, veri tabanları ile yapı bileşenlerinin, yapıya ait bilgilerin görselleştirilmesini ve paylaşımını sağlayan bir veri kaynağı olarak tanımlanabilir (Liu vd., 2021). Bununla birlikte bina bileşenlerine ait geometrik ve semantik verilerin ayrıntılı bir şekilde elde edilmesine imkan tanıdığından iç mekân navigasyonu için de önem arz etmektedir. YBM’nin bu özellikleri dikkate alındığında çalışmada mekânsal veri kaynağı olarak yapı bilgi modeli kullanımı uygun görülmüştür. IFC formatında yapı bilgi modelinin oluşturulması için genel iş akışı Şekil 3’te verilmiştir.

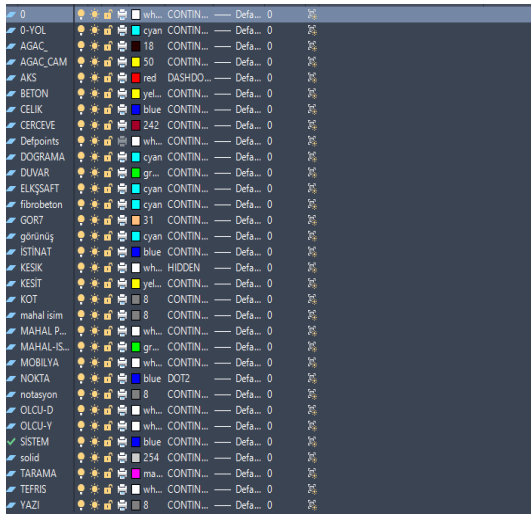


Şekil 2: Çalışmanın genel iş akışı



Şekil 3: IFC formatında yapı bilgi modelinin oluşturulması iş akışı

Yapı bilgi modelinin üretimine esas teşkil edecek kat planlarına ilişkin katmanlardan iç mekân navigasyonu ağ modellerinin üretimine esas teşkil etmeyen katmanlar elenmelidir. Bu işlemler, AutoCAD yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. İç mekân haritaları üzerine yapılan çalışmaların son yıllarda ivme kazanmasıyla beraber kat planlarının harita niteliği taşıyıp taşımadığı tartışılmaya başlanmıştır (Chen & Clarke, 2020). Bu aşamada, amaca yönelik yapı bilgi modelinin elde edilmesi için model genelleştirme ile “Duvar”, “Doğrama” ve “Beton” katmanları “İç mekân” katmanı adı altında semantik olarak gruplandırılarak katmanlara son şekli verilmiştir. Şekil 4’te model genelleştirme öncesi ve sonrası mimari çizimlere ait katmanlar verilmiştir. İşlem sonrası genelleştirilmiş kat planları görünümü Şekil 5’te verilmiştir.

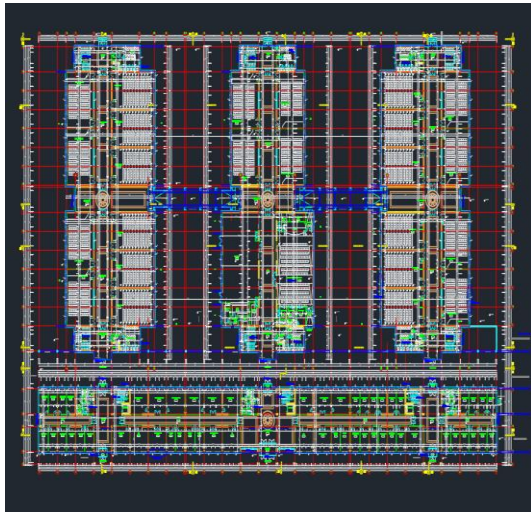


(a)

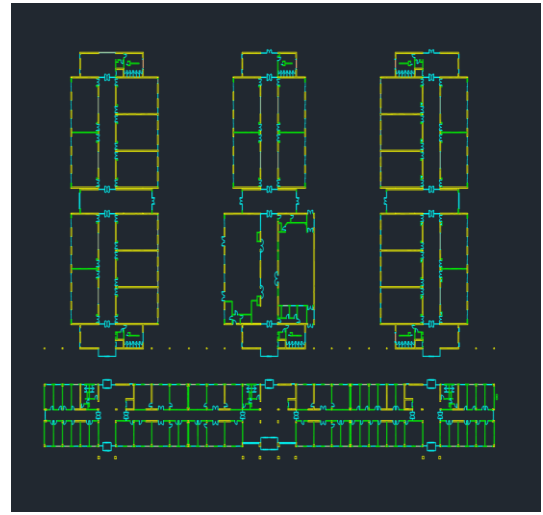


(b)

Şekil 4: Model genelleştirme işlemi öncesi (a) ve sonrası (b) katmanlar



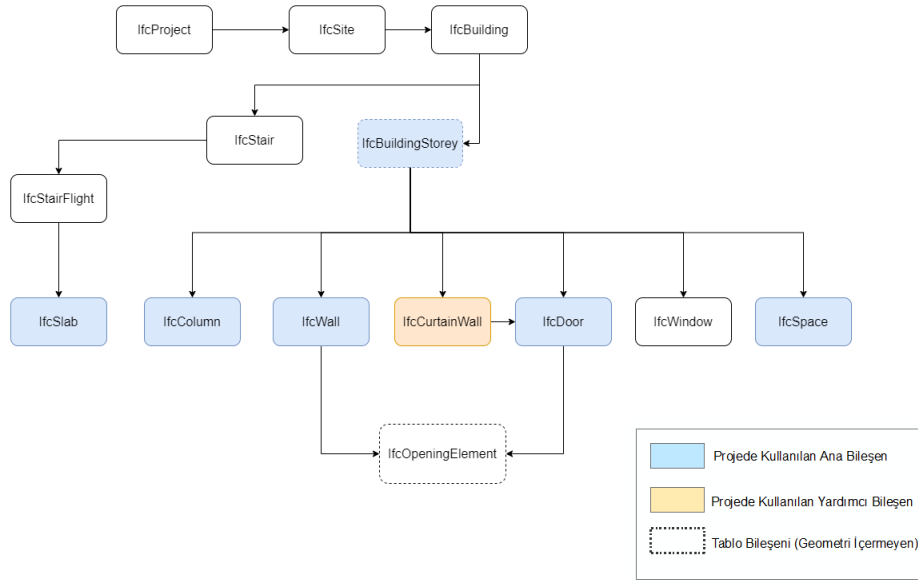
(a)



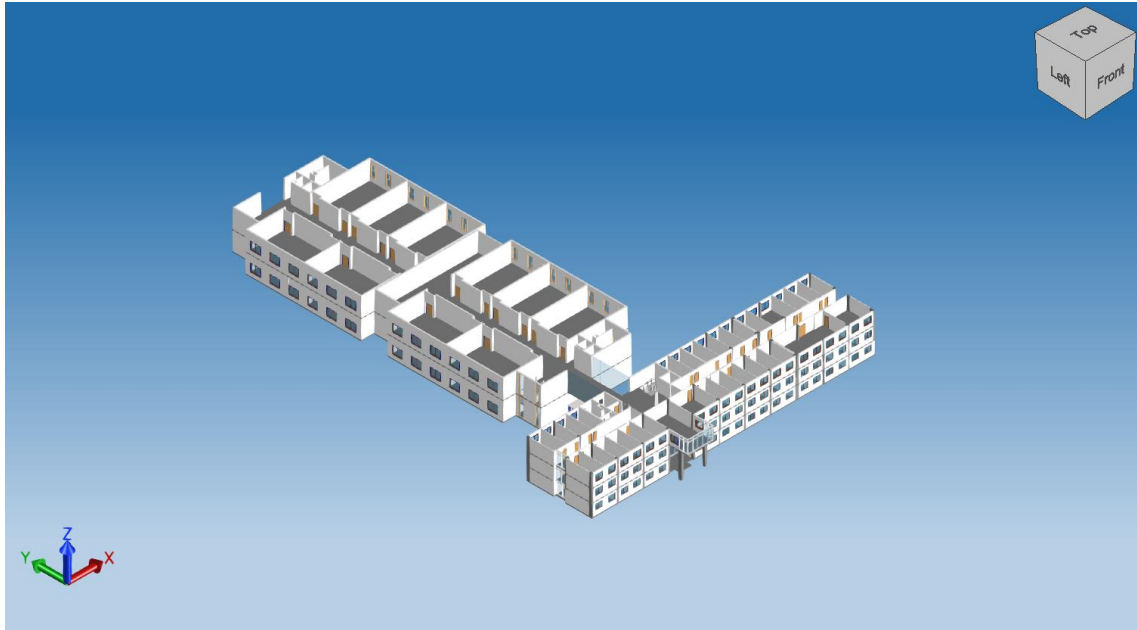
(b)

Şekil 5: Model genelleştirme işlemi öncesi (a) ve sonrası (b) zemin kat mimari planı

Genelleştirilmiş 2B kat planları, Autodesk Revit 2021 yazılımına aktarılarak kat planı ölçüleri ve semantik dönüşüm işlemi yapılmış katmanlar esas alınarak yapı bilgi modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan yapı bilgi modeli, diğer YBM programları ile yüksek uyumluluk gösteren (Park vd., 2020) IFC versiyonu olan IFC 2x3 formatında dışa aktarılmıştır. Yapı bilgi modeli, IFC formatında dışa aktarılırken, IFC şemasında aktarılacak temel yapı bileşenleri seçilmiştir. IfcSpace objesi IfcSlab, IfcWall, IfcDoor geometrik nesnelere ile çevrilidir ve iç mekânı tanımlamaktadır, öznitelik bilgisi bakımından ise IfcBuilding ve IfcBuildingStorey ile ilişkilidir (Park vd., 2020). IfcDoor iç mekânlar arasındaki geçişleri tanımlayan IFC nesnesi, IfcWall ise iç mekân içerisinde oluşan rotaları sınırlayıcı nesnelere olarak işlev görmektedir (Park vd., 2020). Dışa aktarılan IFC şeması nesnelere, Şekil 6'da verilmiştir. IFC formatında dışa aktarılan çalışma bölgesine ait yapı bilgi modelinin görünümü Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6: Çalışmada kullanılan IFC şeması (Park vd., 2020)

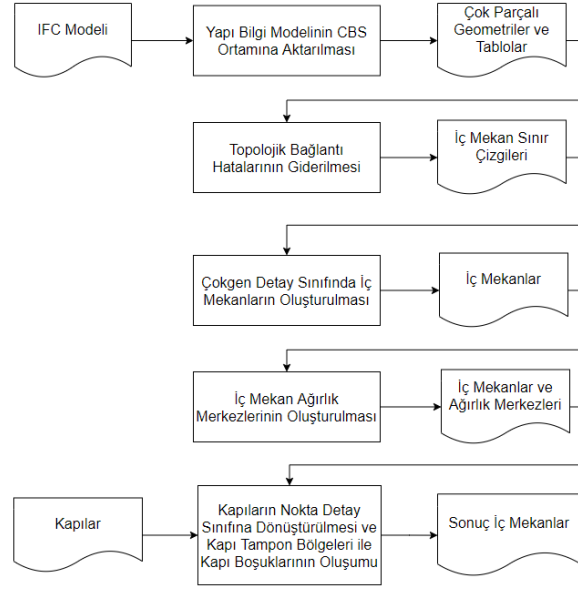


Şekil 7: Çalışmada kullanılan IFC formatındaki yapı bilgi modeli

### 3.2 CBS Ortamında İç Mekânların Oluşturulması

İç mekân navigasyonu ağ modellerinin oluşturulması için CBS ortamında iç mekân bileşenlerinin ilgili detay sınıfı türünde (nokta, çizgi, çokgen) oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla IFC formatında dışa aktarılan yapı bilgi modelinin CBS ortamına entegrasyonu sağlanmalıdır. YBM-CBS entegrasyonuna ilişkin iş akışı Şekil 8’de verilmiştir.





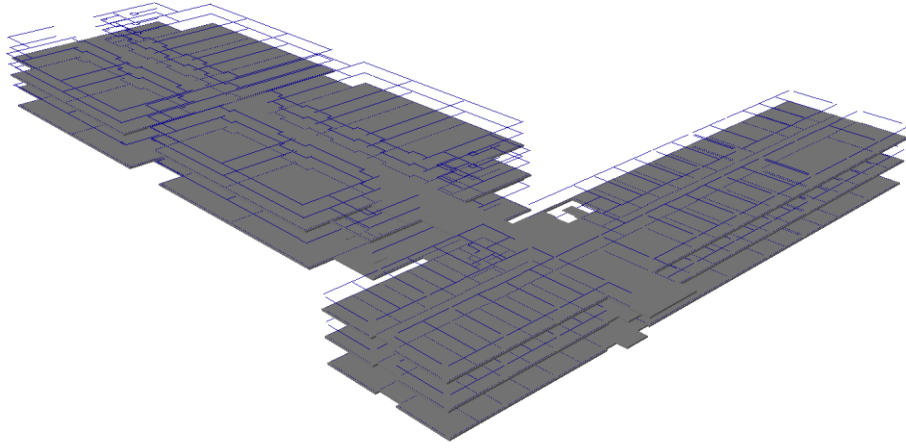
Şekil 8: İç mekânların oluşturulması iş akışı

Bu kapsamda öncelikle ArcGIS 10.8 yazılımında çeşitli araçlar ile yapı bilgi modeli, çok parçalı geometriler ve tablolar halinde CBS ortamına aktarılmıştır (Şekil 9) ve iç-dış mekân navigasyonun entegre edilebilmesi adına yapı bilgi modeli bağlı koordinat sistemi yerine ülkemizde büyük ölçekli haritalarda kullanılan EPSG:5254 Gauss-Krüger Orta Meridyen 30° – ITRF96 (TUREF/TM30) projeksiyon koordinat sisteminde coğrafi referanslandırma işlemi yapılmıştır.



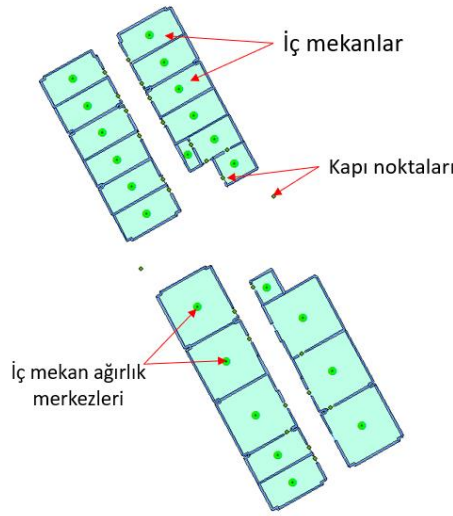
Şekil 9: CBS ortamına aktarılan yapı bilgi modeli

Aktarılan yapı bilgi modelinde çizgi detay sınıfındaki IfcWallStandartCase\_line iç mekânların oluşumuna esas teşkil etmektedir. Ancak, taşıyıcı kolonların bulunduğu kısımlarda ve YBM-CBS entegrasyonu sırasında topolojik hatalar oluşmuştur. Bunlar, çizgiler arasında bağlantı hataları (Şekil 10) biçiminde olup, ArcGIS 10.8 yazılımında yazılan bir program parçacığı yardımıyla giderilmiştir. Böylelikle, CBS ortamında geometrik ve topolojik olarak tutarlı çokgen detay sınıfında iç mekânlar oluşturulmuştur.



Şekil 10: Çizgi detay sınıfındaki topolojik bağlantı hataları

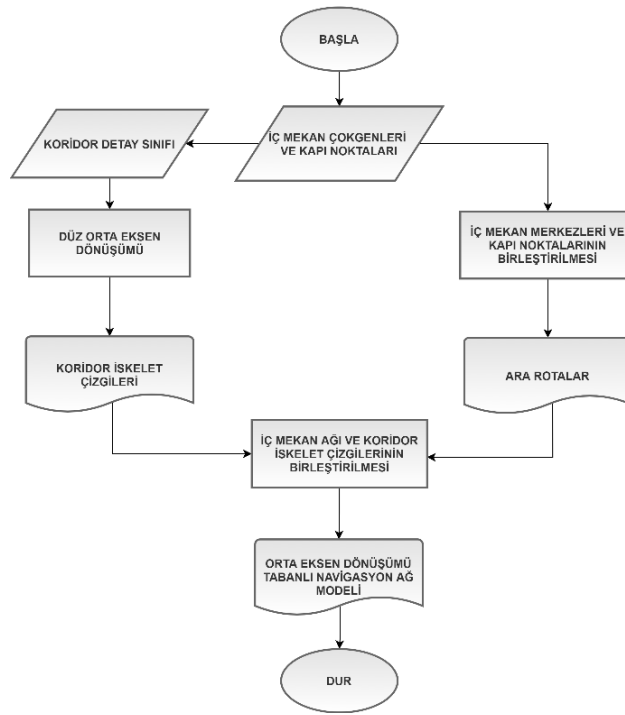
Navigasyon rotalarının başlangıç ve bitişini temsil eden iç mekân ağırlık merkezleri oluşturulduktan sonra iç mekânlar ve koridor arasındaki bağlantıyı sağlamak amacıyla kapı nokta detay sınıfı oluşturulmuş ve kapıların genişlikleri esas alınarak kapı tampon bölgeleri oluşturularak iç mekân-koridor bağlantısı sağlanmıştır. İşlemler sonucu oluşan iç mekânlar Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11: İç mekânlar

### 3.3 Orta Eksen Dönüşümü Tabanlı Navigasyon Ağ Modelinin Oluşturulması

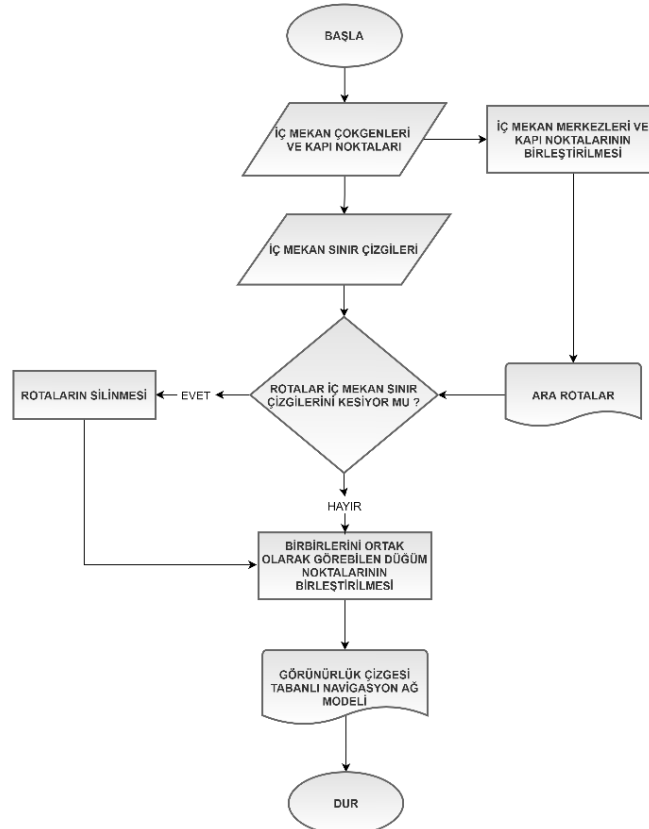
OED tabanlı ağ modelleri genellikle koridor iskelet çizgilerinin elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. İç mekân merkezleri, kapı noktaları ve koridor bağlantıları için kesin bir kural bulunmamaktadır. Çalışma bölgesinde koridorlardan biri dar ve uzun, diğeri ise geniş ve kısadır. Kullanılan veri setinde karmaşık şekilli bir koridor bulunmadığından Lee (2004) tarafından geliştirilen yöntem olan D-OED kullanımı uygun görülmüştür. D-OED tabanlı navigasyon ağ modelinin üretimi için tasarlanan iş akışı Şekil 12’de verilmiştir. Koridor detay sınıfı kullanılarak D-OED ile koridor iskelet çizgileri elde edilmiştir. İç mekân merkezleri kendisine en yakın kapı noktası ile birleştirilmiş, kapı noktaları ise en yakın koridor iskelet çizgisine bağlanmıştır.



Şekil 12: D-OED tabanlı navigasyonu ağ modelinin oluşturulması iş akışı

### 3.4 Görünürlük Çizgesi Tabanlı Navigasyon Ağ Modelinin Oluşturulması

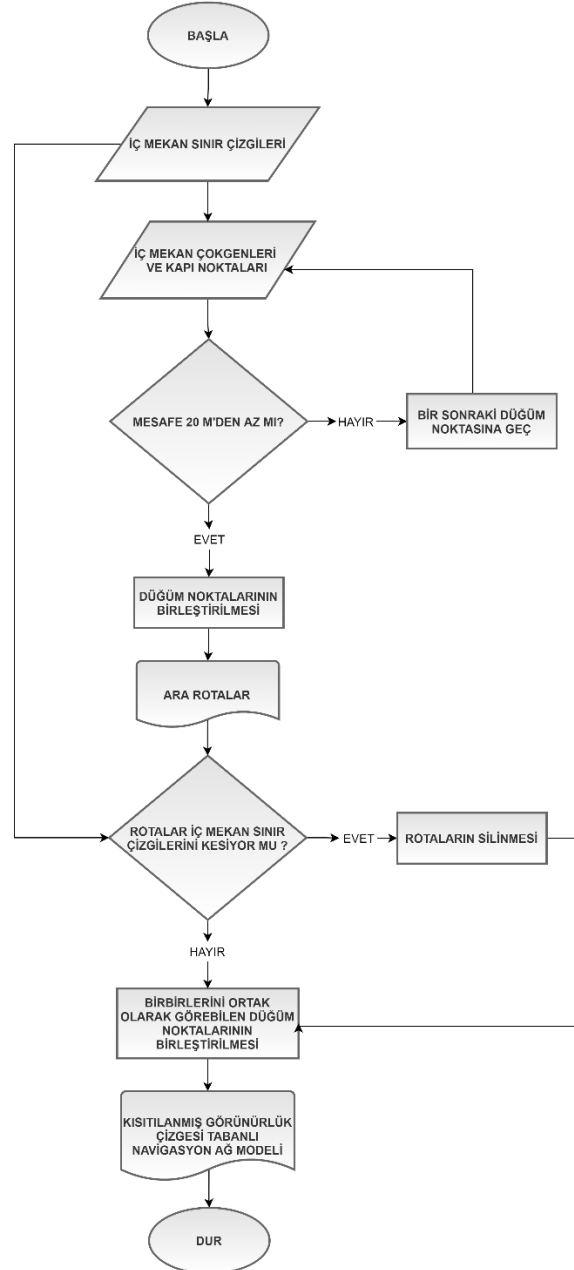
GÇ tabanlı navigasyon ağı oluşturulurken iç mekân merkezleri ve kapı noktaları detay sınıfları arasında birbirlerini ortak olarak görebilen tüm düğüm noktaları birleştirilmelidir. GÇ tabanlı navigasyon ağ modelinin oluşturulması için iş akışı Şekil 13'te verilmiştir. İlk olarak iç mekân merkezleri ve kapı düğüm noktaları birleştirilmiştir. Çizgi detay sınıfındaki duvar nesnelere ise kenarların oluşumunu sınırlayıcı nesnelere görev olarak GÇ tabanlı navigasyon ağ modeli oluşturulmuştur.



Şekil 13: GÇ tabanlı navigasyonu ağ modelinin oluşturulması iş akışı

### 3.5 Kısıtlanmış Görünürlük Çizgesi Tabanlı Navigasyon Ağ Modelinin Oluşturulması

Klasik yaklaşımda, dar ve uzun koridorlarda yayaların görüş alanı çok geniş olsa da bu durum navigasyon ağ modelinde çok fazla sayıda gereksiz rota oluşumuna sebep olmakta ve yayaların iç mekân içerisinde bilişsel yüklerini arttırmaktadır. Yayaların iç mekân içerisinde yön bulma algısını iç mekânı bölümlendirerek oluşturduğu (Vanclooster vd., 2019) dikkate alınarak görüş alanı alt koridorlar bazında kısıtlanmış ve yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşıma ilişkin iş akışı Şekil 14'te verilmiştir. Koridor bazında iki nokta arasında ölçülen maksimum mesafenin 20 metre olması nedeniyle görünürlüğe bağlı rotaların oluşumu 20 m ile kısıtlanmıştır. Bu yaklaşım gereksiz rotaların oluşumunu önemli ölçüde engellemekte ve hesaplama verimliliği açısından klasik GÇ tabanlı yöntemle üstünlük sağlamaktadır.

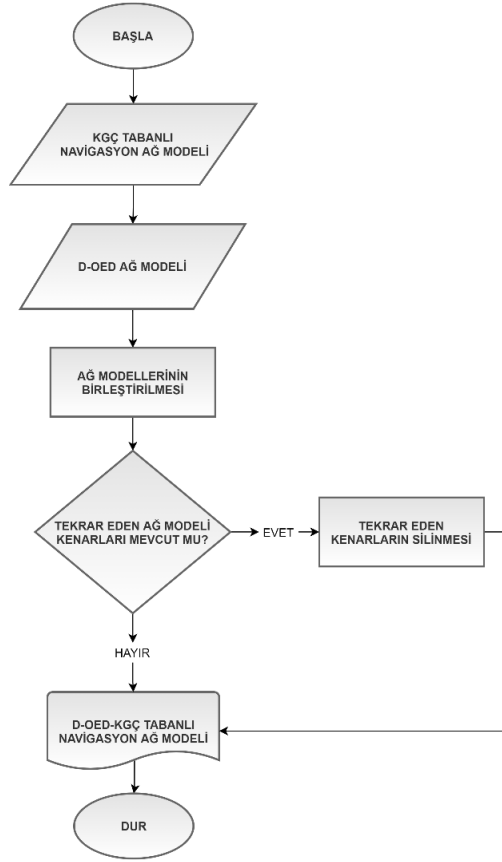


Şekil 14: KGÇ tabanlı navigasyonu ağ modelinin oluşturulması iş akışı

### 3.6 Kısıtlanmış Görünürlük Çizgesi ve Orta Eksen Dönüşümü Tabanlı Navigasyon Ağ Modelinin Bütünleştirilmesi

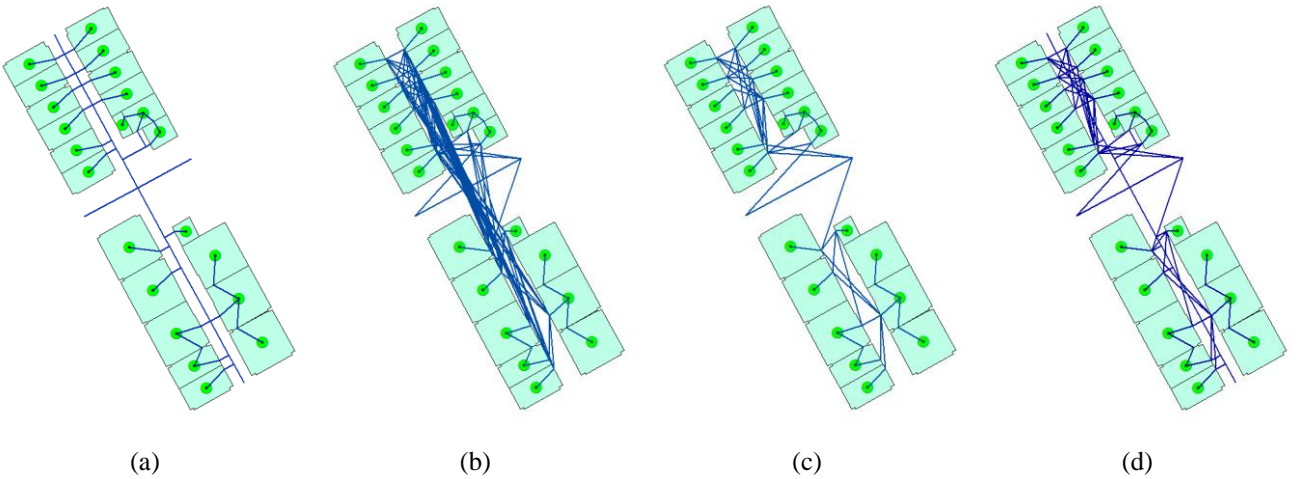
İç mekân navigasyonu ağ modelleri yayaların bilişsel algısını oluşturabileceği yoğunlukta ve yayalara bilişsel yük oluşturmayacak sadelikte olmalıdır. Görüş alanı koridor bazında kısıtlandığında özellikle koridor kesişim noktalarında

düğüm noktaları oluşmaması nedeniyle ağ modeli olması gerekenden daha seyrek olmaktadır. Bu bağlamda D-OED ve KGÇ ağ modelleri bütünleştirilmiştir. Ağ modellerinin bütünleştirildiği hibrit yaklaşım için iş akışı Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15: D-OED - KGÇ tabanlı navigasyonu ağ modelinin oluşturulması iş akışı

Kullanılan tüm yöntemler sonucunda sonuç ürün olarak oluşan iç mekân navigasyonu ağ modelleri Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16: (a) D-OED navigasyonu ağ modeli (b) GÇ navigasyonu ağ modeli (c) KGÇ ağ modeli (d) D-OED-KGÇ ağ modeli

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında seçilen bölgede oluşturulan her bir iç mekân navigasyonu ağ modeli (D-OED, GÇ, KGÇ ve D-OED-KGÇ) kombinasyonu için rastgele seçilmiş olan 30'ar adet rota ArcGIS 10.8 yazılımında ağ analizi aracı ile hesaplanmıştır. Araç

seçilen başlangıç ve bitiş düğüm noktaları arasında Dijkstra (1959) algoritmasına göre hedef düğüm noktasına ulaşmak için kullanılan en kısa rotanın uzunluğunu, rotada harcanan süreyi ve rota üzerinde yapılan dönüş sayısını hesaplamaktadır. Yayalar, gündelik hayatın çoğunun geçtiği iç mekân içerisinde genellikle en kısa sürede hedeflenen konuma varmak istediklerinden rota üzerinde harcanan mesafe, harcanan zaman ve rota üzerinde yapılan dönüş sayısı önem arz etmektedir. Ayrıca, yangın ve deprem gibi acil durum senaryolarında kısa mesafeler daha da önem kazanmaktadır (Kwan & Lee, 2005). Bu durum dikkate alınarak oluşturulan navigasyon ağ modellerinde rastgele seçilen rotalar için mesafe ve rota üzerinden yapılan dönüş sayıları karşılaştırılmıştır.

Analizde iç mekân içerisinde herhangi bir engel olmadığı kabulü yapılmış olup, iç mekân içerisinde resmi odalara erişim izni gerektiren bir durum olmadığı varsayılmıştır. Ağ modellerine (D-OED, GÇ, KGÇ, D-OED-KGÇ) bağlı olarak seçilen rotalarda elde edilen sonuçlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1:** En kısa mesafe için ağ modellerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağ Modeli	Ortalama (m)	Standart Sapma (m)	Standart Hata (m)
D-OED	60.71	22.88	4.18
GÇ	49.76	19.57	3.57
KGÇ	66.07	25.80	4.71
D-OED-KGÇ	50.93	19.87	3.63
<b>Toplam</b>	56.87	22.93	2.09

Rotalara ilişkin en kısa mesafelere ilişkin sonuçlar incelendiğinde en kısa rotaların, GÇ tabanlı ağ modeliyle elde edildiği gözlenmektedir. GÇ birbirlerini ortak olarak görebilen tüm düğüm noktaları birleştirilerek oluşturulduğundan, diğer algoritmalara oranla çok daha fazla sayıda rota alternatifi ortaya çıktığı için sonuçlar olası olarak yorumlanmaktadır. Önerilen yöntem olan D-OED-KGÇ ağ modeli incelendiğinde GÇ ile ortalama 1.17 m fark olduğu gözlenmektedir. En kısa mesafeler arasındaki farkın oldukça az olması bununla birlikte hem hesaplama verimliliği sağlaması hem de rastgele seçilen görece uzun rotalarda yayaların iç mekânı alt koridor bölümleri halinde anlamlandırmasını göz önünde bulundurması ve iç mekân orta eksenini de dikkate alması önerilen yöntemin kullanışlı olabileceğini göstermektedir. En kötü sonucun ise ortalama 66.07 m ile tek başına kullanılan KGÇ tabanlı ağ modelinde elde edildiği gözlemlenmektedir.

Çalışmada ağ analizi aracı ile oluşan en kısa rota uzunluklarının ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığının incelenmesi adına tek yönlü ANOVA testi uygulanmıştır (Tablo 2). ANOVA testinin anlamlı sonuç vermesi ( $p < 0.05$ ) durumunda hangi iç mekân navigasyonu ağ modelleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığının tespit edilmesi için navigasyon ağ modellerine ilişkin örneklem eşit sayıda ( $30^{\circ}$  ar adet) olduğundan Tukey HSD post-hoc testi önerilmektedir.

**Tablo 2:** En kısa mesafe için ağ modellerine ilişkin tek yönlü ANOVA testi sonuçları

Rota Uzunluğu	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık
<b>Gruplar Arası</b>	5558.641	3	1852.880	3.768	0.013*
<b>Gruplar İçi</b>	57035.653	116	491.687		
<b>Toplam</b>	62594.294	119			

Not:  $p^{***} < 0.001$ ,  $p^{**} < 0.01$ ,  $p^{*} < 0.05$  anlamlılık düzeyleri.

ANOVA testinde ağ modelleri arasında anlamlı bir fark olduğu ( $p = 0.013$ ) gözlemlendiğinden hangi algoritmalar arasında en kısa mesafe açısından belirgin bir fark olduğunun belirlenmesi için Tukey HSD post-hoc testi uygulanmıştır. Tukey HSD testine ilişkin sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir.

Tukey HSD post-hoc testi sonuçları incelendiğinde en kısa mesafe bağımlı değişkeni için GÇ ve KGÇ tabanlı ağ modelleri arasında anlamlı bir fark gözlenmiştir. Anlamlılık 0.026 düzeyindedir. Diğer bir anlamlı fark KGÇ ve önerilen yöntem olan

D-OED-KGÇ tabanlı ağ modelinde gözlenmiştir; ancak fark diğer fark kadar belirgin olmayıp anlamlılık 0.045 düzeyindedir. Literatürde çeşitli çalışmalarda en kısa mesafe açısından öne çıkan yöntem olan GÇ tabanlı ağ modeli ile bu çalışmada önerilen yöntem olan D-OED-KGÇ tabanlı ağ modeli arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu durum çoğunlukla dar ve uzun koridorlardan oluşan iç mekânlarda, önerilen yöntemin hesap verimliliği açısından benzer olması, en kısa mesafe açısından anlamlı bir fark olmaması ve yayaların iç mekân içerisinde yön bulma algısını mekânı bölümlendirerek oluşturduğu hususları dikkate alındığında GÇ tabanlı ağ modeli yerine kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

**Tablo 3:** En kısa mesafe için ağ modellerine ilişkin Tukey HSD testi sonuçları

Algoritma	Algoritma	Anlamlılık
D-OED	GÇ	0.228
	KGÇ	0.786
	D-OED-KGÇ	0.324
GÇ	D-OED	0.228
	KGÇ	0.026*
	D-OED-KGÇ	0.997
KGÇ	D-OED	0.786
	GÇ	0.026*
	D-OED-KGÇ	0.045*
D-OED-KGÇ	D-OED	0.324
	GÇ	0.997
	KGÇ	0.045*

Not:  $p^{***}<0.001$ ,  $p^{**}<0.01$ ,  $p^{*}<0.05$  anlamlılık düzeyleri.

Bir navigasyon ağında en kısa mesafenin yanında ağın etkinliğine katkıda bulunan diğer bir husus, rota üzerinde yapılan dönüş sayısıdır (Vanclooster vd., 2019). En kısa rotalar her zaman insan algısına uyumlu sonuçlar vermemektedir, oluşan rotalar kısa olsa da yayalar bu rotalar üzerinde kendini konforlu hissetmeyebilirler. Bu durum dikkate alınarak seçilen ağ modelleri (D-OED, GÇ, KGÇ ve D-OED-kombinasyonu) rota üzerinde yapılan dönüş bakımından karşılaştırılmıştır. Ağ modellerine (D-OED, GÇ, KGÇ, D-OED-KGÇ) bağlı olarak seçilen rotalarda elde edilen dönüş sayılarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 4’te verilmiştir. Tek yönlü ANOVA testine ilişkin sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 4:** Dönüş sayıları için ağ modellerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağ Modeli	Ortalama (m)	Standart Sapma (m)	Standart Hata (m)
D-OED	2.83	1.12	0.20
GÇ	2.43	1.14	0.21
KGÇ	4.10	1.52	0.28
D-OED-KGÇ	2.63	1.16	0.21
<b>Toplam</b>	3.00	1.39	0.13

**Tablo 5:** Dönüş sayıları için ağ modellerine ilişkin tek yönlü ANOVA testi sonuçları

Rota Uzunluğu	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık
<b>Gruplar arası</b>	50.8	3	16.933	10.961	0.000***
<b>Gruplar içi</b>	179.2	116	1.545		
<b>Toplam</b>	230	119			

Not:  $p^{***}<0.001$ ,  $p^{**}<0.01$ ,  $p^{*}<0.05$  anlamlılık düzeyleri.

Dönüş sayıları için yapılan tek yönlü ANOVA testi sonuçları gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu ortaya koymaktadır. Hangi ağ modelleri arasında dönüş sayıları açısından anlamlı bir fark olduğunun belirlenmesi için Tukey HSD post-hoc testi uygulanmıştır. Tukey HSD testine ilişkin sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.

Tukey HSD post-hoc testi sonuçları incelendiğinde rota üzerinde yapılan dönüş sayıları bağımlı değişkenine ilişkin KGÇ ağ

modeli ile diğer ağ modellerinin ortalamaları arasında anlamlı bir fark gözlenmektedir. Diğer ağ modelleri olan D-OED, GÇ ve D-OED-KGÇ ağ modelleri arasında anlamlı bir fark gözlenmemektedir. Bu durum KGÇ ağ modelinin tek başına iç mekân navigasyon ağı olarak kullanımına uygun olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. KGÇ, D-OED ile bütünleştirilerek kullanıldığında en az dönüş sayısına sahip GÇ tabanlı ağ modeli ile aralarında anlamlı bir fark olmaması, D-OED-KGÇ ağ modelinin, GÇ tabanlı ağ modeli yerine kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

**Tablo 6:** Dönüş sayıları için ağ modellerine ilişkin Tukey HSD testi sonuçları

Algoritma	Algoritma	Anlamlılık
D-OED	GÇ	0.599
	KGÇ	0.001***
	D-OED-KGÇ	0.924
GÇ	D-OED	0.599
	KGÇ	0.000***
	D-OED-KGÇ	0.924
KGÇ	D-OED	0.001***
	GÇ	0.000***
	D-OED-KGÇ	0.000***
D-OED-KGÇ	D-OED	0.924
	GÇ	0.924
	KGÇ	0.000***

Not:  $p^{***}<0.001$ ,  $p^{**}<0.01$ ,  $p^{*}<0.05$  anlamlılık düzeyleri.

En kısa mesafe ve dönüş sayıları birlikte dikkate alındığında her bir ağ modelinde rastgele seçilen 30'ar rota için istatistiksel olarak en iyi sonuçları GÇ tabanlı ağ modeli vermektedir. Bu durum GÇ tabanlı ağ modelinin literatürde sık kullanılan ağ modelleri ile karşılaştıran Park vd. (2020)'nin elde ettiği sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Hem en kısa mesafe hem de rota üzerinde yapılan dönüş sayıları açısından D-OED-KGÇ ile GÇ arasında belirgin bir fark olmadığından, önerilen yöntemin yayaların mekân içi görüş algısını bölümlendirerek oluşturduğu dikkate alındığında yangın gibi iç mekân içerisinde yavaşça ilerleyerek belirli bir görüş alanı kısıtı oluşturan acil durum anında, önerilen yöntemin GÇ tabanlı ağ modeli yerine bina tahliyesi senaryolarında kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 5. Sonuçlar

Endüstri 4.0 çağı ile akıllı şehirler ve akıllı şehirlerin en önemli unsurlarından biri olan akıllı binaların önem kazanması ve teknolojinin gelişmesiyle beraber iç mekân navigasyonu; alışveriş merkezleri, havaalanları, kompleks binalar gibi yapılarda ziyaretçilerin yönlendirilmesi, acil durum yönetimi, tesis yönetimi, iç mekânda engelli bireylerin yönlendirilmesi gibi uygulama alanlarında kendine yer edinmiştir ve kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.

İç mekân içerisinde konumlama teknolojilerinin belirli bir olgunluğa ulaşması sonucu çalışmaların odağı navigasyon rotalarının planlanması/hesaplanması üzerine kaymıştır. Bununla birlikte, iç mekânın yapısının dış mekânlara kıyasla karmaşıklık göstermesi ve iç mekân içerisinde hareket kabiliyetinin geniş bir spektrumda olması sebebiyle insan algısıyla tam uyumlu kapsayıcı bir navigasyon ağ modeli henüz geliştirilememiştir.

Bu çalışmada literatürde öne çıkan OED tabanlı ağ modelleri ve eş görünüm alanları teorisinden yararlanarak geliştirilen GÇ tabanlı ağ modelleri YTÜ İnşaat Fakültesi A blok binasına ilişkin zemin kat planları yardımıyla üretilen yapı bilgi modeli üzerinde oluşturulmuş, GÇ tabanlı ağ modeline alt koridorlar bazında görüş alanı kısıtı getirilerek OED tabanlı ağ modelleriyle bütünleştirilerek yeni hibrit bir yaklaşım sunulmuştur.

DeneySEL çalışmada elde edilen bulgulara göre literatürde insan algısı ile ilişkili olduğu gösterilen GÇ tabanlı ağ modelinin



seçilen güzergâh için en yakın ağ modelinden ortalama 1.17 m daha kısa ve daha az ortalama dönüş sayısına sahip rotaların elde edilmesine olanak sağladığı ve KGÇ tabanlı ağ modelinin tek başına kullanımının ise en kötü sonucu verdiği görülmüştür. Önerilen yöntem olan D-OED-KGÇ tabanlı ağ modelinin en kısa mesafe ve dönüş sayıları bakımından GÇ tabanlı ağ modelinden anlamlı düzeyde farklılaşmadığı ve iç mekân içerisinde yayaların koridorları alt bölümlere ayırarak yön bulma algısını oluşturduğu dikkate alındığında yangın gibi bir afet anında görüş alanı kısıtlı olduğunda ya da iç mekân içerisindeki hareketi engelleyici objelerin bulunması gibi çeşitli senaryolarda GÇ tabanlı ağ modeli yerine kullanılabilceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada iç mekân içerisinde herhangi bir engelleyici nesne bulunmadığı ve iç mekân içerisindeki resmi odalara erişim izni kısıtlaması olmadığı kabul edilerek iki boyutlu ve çoğunlukla dar ve uzun bir koridordan oluşan iç mekân dikkate alınmıştır. Gelecek çalışmalarda iç mekân içerisindeki hareketi engelleyici nesnelere, izin kısıtları dikkate alınabilir ve önerilen yöntem kat seviyesi yerine katlar arası seviyeyi de destekleyen kapsamlı bir ağ modeli olarak 3B bir iç mekân içerisinde denenebilir.

## Teşekkür

YTÜ İnşaat Fakültesi'nin yapı bilgi modelinin oluşturulmasında kullanılan CAD formatındaki kat planları verilerini bizlere sağlayan YTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na teşekkürü bir borç biliriz.

## Yazar Katkısı

**Atakan Bilgili:** Fikir, Tasarım, Literatür taraması, Veri toplama ve işleme, Analiz ve yorumlama, Yazım, Makale değerlendirme. **Alper Şen:** Fikir, Tasarım, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Denetleme, Yazım, Makale değerlendirme. **Melih Başaraner:** Fikir, Tasarım, Analiz ve yorumlama, Denetleme, Yazım, Makale değerlendirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Kaynaklar

- Afyouni, I., Ray, C., & Christophe, C. (2012). Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey. *Journal of Spatial Information Science*, 1(4), 85-123.
- Benedikt, M. L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and design*, 6(1), 47-65.
- Chen, A. Y., & Huang, T. (2015). Toward BIM-enabled decision making for in-building response missions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(5), 2765-2773.
- Chen, J., & Clarke, K. C. (2020). Indoor cartography. *Cartography and Geographic Information Science*, 47(2), 95-109.
- Choi, J., & Lee, J. (2009). 3D geo-network for agent-based building evacuation simulation. In *3D geo-information sciences* (s. 283-299). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1), 269-271.
- Fallah, N., Apostolopoulos, I., Bekris, K., & Folmer, E. (2013). Indoor human navigation systems: A survey. *Interacting with Computers*, 25(1), 21-33.
- Fisher, R. A. (1921). On the probable error of a coefficient of correlation deduced from a small sample. *Metron*, 1, 1-32.

- Giudice, N. A., Walton, L. A., & Worboys, M. (2010). The informatics of indoor and outdoor space: a research agenda. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness* (s. 47-53).
- Gunduz, M., Isikdag, U., & Basaraner, M. (2016). Trending Technologies for Indoor FM: Looking for "Geo" in Information. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 4.
- Isikdag, U., Zlatanova, S., & Underwood, J. (2013). A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 112-123.
- Kneidl, A., Borrmann, A., & Hartmann, D. (2012). Generation and use of sparse navigation graphs for microscopic pedestrian simulation models. *Advanced Engineering Informatics*, 26(4), 669-680.
- Knöth, L., Mittlböck, M., Vockner, B., Andorfer, M., & Atzl, C. (2019). Buildings in GI: How to deal with building models in the GIS domain. *Transactions in GIS*, 23(3), 435-449.
- Koyuncu, H., & Yang, S. H. (2010). A survey of indoor positioning and object locating systems. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(5), 121-128.
- Kwan, M. P., & Lee, J. (2005). Emergency response after 9/11: the potential of real-time 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(2), 93-113.
- Lee, D. T. (1982). Medial axis transformation of a planar shape. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (4), 363-369.
- Lee, J. (2004). A spatial access-oriented implementation of a 3-D GIS topological data model for urban entities. *GeoInformatica*, 8(3), 237-264.
- Lee, J. K., Eastman, C. M., Lee, J., Kannala, M., & Jeong, Y. S. (2010). Computing walking distances within buildings using the universal circulation network. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4), 628-645.
- Li, D., & Lee, D. L. (2008). A lattice-based semantic location model for indoor navigation. In *The Ninth International Conference on Mobile Data Management (mdm 2008)* (s. 17-24). IEEE.
- Li, H., Chan, G., Wong, J. K. W., & Skitmore, M. (2016). Real-time locating systems applications in construction. *Automation in Construction*, 63, 37-47.
- Lin, W. Y., & Lin, P. H. (2018). Intelligent generation of indoor topology (i-GIT) for human indoor pathfinding based on IFC models and 3D GIS technology. *Automation in construction*, 94, 340-359.
- Liu, L., Li, B., Zlatanova, S., & van Oosterom, P. (2021). Indoor navigation supported by the Industry Foundation Classes (IFC): A survey. *Automation in Construction*, 121, 103436.
- Mast, V., Jian, C., & Zhekova, D. (2012). Elaborate descriptive information in indoor route instructions. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 34, No. 34).
- Mortari, F., Zlatanova, S., Liu, L., & Clementini, E. (2014). Improved Geometric Network Model (IGNM): A novel approach for deriving connectivity graphs for indoor navigation. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(4).
- Müller, M., Ohm, C., Schwappach, F., & Ludwig, B. (2017). The path of least resistance: Calculating preference adapted routes for pedestrian navigation. *KI-Künstliche Intelligenz*, 31(2), 125-134.
- Ohm, C., Müller, M., & Ludwig, B. (2015). Displaying landmarks and the user's surroundings in indoor pedestrian navigation systems. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 7(5), 635-657.
- Pang, Y., Zhou, L., Lin, B., Lv, G., & Zhang, C. (2020). Generation of navigation networks for corridor spaces based on indoor visibility map. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(1), 177-201.
- Park, J., Goldberg, D. W., & Hammond, T. (2020). A comparison of network model creation algorithms based on the quality of wayfinding results. *Transactions in GIS*, 24(3), 602-622.
- Puértolas Montañés, J. A., Mendoza Rodríguez, A., & Sanz Prieto, I. (2013). Smart indoor positioning/location and navigation: A lightweight approach. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2(2), 43-50.
- Rüetschi, U. J., & Timpf, S. (2005). Modelling wayfinding in public transport: Network space and scene space. In *International Conference on Spatial Cognition* (s. 24-41). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Taneja, S., Akinci, B., Garrett, J. H., Soibelman, L., & East, B. (2011). Transforming IFC-based building layout information into a geometric topology network for indoor navigation assistance. In *Computing in Civil Engineering (2011)* (s. 315-322).
- Stoffel, E. P., Lorenz, B., & Ohlbach, H. J. (2007). Towards a semantic spatial model for pedestrian indoor navigation. In *International*

*conference on conceptual modeling* (s. 328-337). Springer, Berlin, Heidelberg.

Turner, A., Doxa, M., O'sullivan, D., & Penn, A. (2001). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and design*, 28(1), 103-121.

Vanclouster, A., Vanhaeren, N., Viaene, P., Ooms, K., De Cock, L., Fack, V., ... & De Maeyer, P. (2019). Turn calculations for the indoor application of the fewest turns path algorithm. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(11), 2284-2304.

Yang, L., & Worboys, M. (2015). Generation of navigation graphs for indoor space. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(10), 1737-1756.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 3(5), 616-630.

Zlatanova, S., Liu, L., & Sithole, G. (2013). A conceptual framework of space subdivision for indoor navigation. In *Proceedings of the fifth ACM SIGSPATIAL international workshop on indoor spatial awareness* (s. 37-41).

Zlatanova, S., Liu, L., Sithole, G., Zhao, J., & Mortari, F. (2014). Space Subdivision for Indoor Applications; OTB Research Institute for the Built Environment. *Delft University of Technology: Delft, The Netherlands*.

URL-1: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/> (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2021).