

Kapalı Alan Ekosistemi

Ali Şahin^{1,*}, Emiray Kahya¹, Caner Güney²

¹Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü Öğrencileri, 34469, İstanbul

²Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul

Özet

İnsanlık, tarih boyunca “Kim, ne zaman, nerede ve neden?” gibi sorulara cevap aramıştır. Bu sorulara cevap üretebilmek için konum bilgisi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Gün geçtikçe konum bilgisine olan talep giderek artmaktadır ve gelişen teknolojiye bağlı olarak konum belirleme ve navigasyon sistemleri gelişmektedir ve çeşitlenmektedir. Yakın bir zamana kadar bu sistemler sadece açık alanlara odaklanmış ve bu alanlarda hizmet vermekteydi. Ancak günümüzde çok büyük hacimli ve karmaşık yapıların inşası, örneğin alışveriş merkezleri, havalimanları, şehir hastaneleri, plazalar, fabrikalar gibi yerler insanların kapalı alanlarda daha çok vakit harcamasına ayrıca konum belirleme ve navigasyon hizmetlerine ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. Açık alanlarda yüksek doğruluklu konum belirleme olanağı sağlayan GNSS teknolojisi kapalı alanlarda yetersiz kalmaktadır. Bu durum kapalı alanlarda konum belirlemede yeni teknoloji ve yöntemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kapalı alanlarda mekânsal veriye dayalı teknoloji ve yöntemler “Kapalı Alan Ekosistemi” içerisinde değerlendirilebilir. Bu ekosistem 3 ana bileşene ayrılmaktadır. Bu bileşenler: kapalı alan harita üretimi, kapalı alan konum belirleme ve kapalı alanda navigasyon olarak sıralanabilir. Kapalı alan ekosistemi konum tabanlı hizmetleri karşılamanın yanı sıra mekânsal analizler ile etkin bir alan yönetimi gerçekleştirme fırsatı sunmaktadır. Bu değerlendirmeler ışığında kapalı alan ekosisteminin üretim aşamaları, kullanılan yöntemler ve kullanıldığı alanlar hakkında bir çalışma yapılmıştır. Kapalı alan ekosistemi katma değer üreten bir hizmet olarak ele alınıp hem ticari işletmeler hem kamu hizmetleri hem de afet sistemleri tarafından tercih edilebilir. Gerek doğal afet durumlarında gerekse COVID-19 gibi biyolojik afet durumların kapalı alanın zamansal mekânsal yönetimi çok önemlidir. Çalışma kapsamında açık alanda konum bilgisi üretiminde yüksek deneyime sahip harita mühendislerinin kapalı alanlarda hangi yöntem, teknik ve teknolojiler kullanarak harita ve harita bilgisi üretip çözümler geliştirebileceği üzerinde durulacaktır.

Anahtar Sözcükler: CBS, Kapalı Alan Ekosistemi, Kapalı Alan Harita Üretimi, Kapalı Alan Konum Belirleme, Kapalı Alanda Navigasyon

1. Giriş

Harita ve harita bilgisi üretimi, harita kullanımı, konum bulma, ilgi noktasına erişme, rota oluşturma, mekânsal modelleme gibi konular günümüzde oldukça önem arz etmektedir. Teknolojik yenilikler mekânsal bilgiyi deneyimlememizi ve bilgidan fayda sağlamamızı geliştirmektedir. Bu konular mekânsal bilgiye olan talebin katlanarak artmasına neden olmaktadır. Açık alanlar haricinde, insanların kapalı alanlarda zaman geçirme ihtiyacının artması ve kapalı alan içerisindeki otomasyon faaliyetleri, kapalı alan konum bilgisine olan talebi arttırmaktadır. İnsanların kapalı alanları deneyimleme biçimi önemli ölçüde değişiklik göstermekte; işletmeler müşterilerine en iyi alışveriş deneyimini gerçekleştirmek için kapalı alan ekosisteminin faydalarını kullanmaya başlamaktadır. Açık alanda konum belirlemenin yanında konum bilgisinin kapalı alanda kullanmaya devam edebilme şansı bu değişime somut bir örnektir. Kapalı alan ekosistemi ile yeni bir konum belirleme deneyimi söz konusu olduğundan, bu değişikliğe en erken ayak uyduran her birey konum belirleme ihtiyacını bir adım öne taşıyacaktır.

1.1. Kapalı Alan Ekosistemi

Kapalı alanlarda IoT, dijital ikiz, harita üretimi, 3 boyutlu modelleme, konum belirleme ve navigasyon hizmetleri ile bir bütün oluşturur ve bu oluşum kapalı alan ekosistemi olarak adlandırılabilir. Kapalı alan ekosistemi alan içerisinde “neredeyim”, “nerede”, “nereye” gibi soruların cevabını üretir. Konum tabanlı olan bu hizmetler birbirlerinin ayrılmaz parçasıdır. Kapalı alan haritaları alandaki mevcut yerleşimi karakterize ederek ortamı tanımamıza yardımcı olur. Haritalar yapının mimari projelerinin, boşaltma kat planlarının sayısallaştırılması ile elde edilebileceği gibi, yersel ölçme teknikleriyle, fotogrametrik ya da lazer tarama yöntemleriyle üretilebilir. Günümüzde bu haritalar çoğunlukla dijital olarak kullanıcıya sunulmakta olup az sayıda olsa da fiziki olarak mevcut olabilir. Kapalı alan haritaları konum belirleme ve navigasyon hizmetleri için bir temel altlık teşkil eder. Alan içerisinde başlangıç için belirlenen bir noktadan hedef noktaya çizilen rota harita üzerinde görselleştirilerek kullanıcının rotayı, alternatif rotaları görmesi mümkün kılınır. Kapalı alanlarda GNSS sinyallerinin yetersiz kalmasından (LoS) dolayı yeni konum belirleme teknolojileri ve yöntemleri ortaya çıkmıştır. Kapalı alan konum belirleme sistemleri akıllı telefon veya tablet gibi mobil cihaz aracılığıyla kişilerin veya nesnelerin konumunun bulunmasını sağlar ve hedefe göre kapalı mekan, açık mekan ve hibrit olarak kategorize edilebilir (Farid vd. 2013). Kapalı alan navigasyonu ise alan içerisinde bir noktadan başka bir noktaya rota belirlenmesi işlevini yürütür. Kapalı alan navigasyonu için birçok algoritma ve yaklaşımlar mevcuttur. En kısa yol algoritması, en basit yol algoritması, en az riskli yol algoritması başlıca navigasyon algoritmalarını oluşturmaktadır.

* Sorumlu Yazar: Tel: (05394329910)

E-posta: sahin16@itu.edu.tr (Şahin A), kahya16@itu.edu.tr (Kahya E)

2. Kapalı Alan Haritası Üretimi

Harita, yeryüzü gerçekliğinin bir analog veya dijital düzleme aktarılmasıdır. Haritalar üreticiden kullanıcıya mekansal bilgi aktaran bir iletişim aracı olarak tanımlanabilir. Kapalı alanı deneyimle şeklimizin değiştiği bu süreçte, kapalı alan haritaları önemini artırmaktadır. Kapalı alan haritaları dijital veya analog ortamda modellenebilir. Boyutuna göre iki boyutlu veya üç boyutlu kapalı alan haritası üretilebilir. Kapalı alan haritaları üretimi ölçme, standartlar ve kartografik model şeklinde üç ana başlıkta ele alınır. Kapalı alanın uygun tekniklerle ölçme işlemi gerçekleştirilir, ölçme ve modellemede ilgili standartlar uygulanır ve kartografik model oluşturulur.

2.1. Kapalı Alanın Ölçülmesi

Açık alanların harita üretiminde olduğu gibi kapalı alan haritası üretiminin de temel adımı ölçmedir. Ölçme işlemi ile istenen doğruluk düzeyine göre kapalı alan modellenebilir ve konum belirleme sistemleri kurularak kapalı alan navigasyon hizmeti sağlanabilir. Üretim sürecinde istenen boyut, doğruluk düzeyi ve uygun maliyetlere göre gerçekliği ölçme veya kat planı üzerinden sayısallaştırma teknikleri kullanılabilir.

2.1.1. Gerçekliği Ölçme ve Modelleme

Gerçekliği ölçme tekniği binayı, alanı veya çevreyi tarama ve dijital bir model temsil etme sürecidir. Gerçeklik ölçme gerçek dünya ile dijital dünyayı birbirine bağlar bu sayede ortamlar sayısal hale dönüşmüş olur. En yaygın gerçeklik ölçme yöntemleri fotogrametrik yöntemler ile elde eden görüntülerle ya da lazer tarama ile elde edilen 3 boyutlu nokta bulutlarıyla yapılmaktadır. Gerçeklik ölçme, fotogrametri yöntemiyle bir nesne veya alanın farklı pozisyonlarından pek çok görüntüsünün elde edilmesi ile başlar ve daha sonra dijital ortamda her bir görüntünün tüm piksellerine bakıp nesnenin özelliklerinden bir veritabanı oluşturularak yapılabilmektedir. Bir fotoğrafın belli bir açıdaki eşsiz bir şekil başka bir fotoğraftaki ile eşleşince, fotoğraf çekilirken kameranın nerede olduğunu bulur ve tüm fotoğraflar için bu uygulanır. Bu işlem sonucu oluşan üçgenlerden yola çıkarak tüm noktaların 3 boyutlu modeli oluşturulur. Lazer tarama yönteminde ise saniyede yüz binlerce, milyonlarca lazer atımı yapabilen lazer tarayıcılar sayesinde nokta bulutu ismi verilen model elde edilir. Nokta bulutu konum bilgisi içerir. Yani taranan bölgede istenilen noktanın koordinatları mevcut hale gelir ve ayrıca her bir noktanın RGB değeri de içerebilir. Gerçeklik ölçme hızlı çözüm sunar, yapılan işin kalitesini ve verimliliğini artırır, sanal gerçeklik sahneleri, dokulu 3 boyutlu ağlar, ortografik projeksiyonlar, coğrafi referanslı haritalar oluşturur. Gerçekliği ölçme tekniği ile kapalı alanların 3 boyutlu modelleri üretilebilir ve bu modeller üzerinden mekansal veriler yardımıyla analizler gerçekleştirilebilir. Gerçekliği ölçme tekniğini kullanan bazı donanımlar piyasada bulunmaktadır. Bu donanımlara NavVis, Trimble TIMMS ve ZED Kamera örnek gösterilebilir. Bu donanımlar LIDAR ve Fotogrametri teknolojilerini kullanarak gerçekliği ölçerek kapalı alan hakkında veri toplanmasına yardımcı olmaktadır. Gerçekliği ölçme uygulamalarının sanal gerçeklik tanımı üzerinden modellenmesiyle oluşan ürünlerin standardizasyon ihtiyacı Sanal Gerçeklik Modelleme Dili (VRML) ile giderilmiştir. Sanal Gerçeklik Modelleme Dili, nesnelerin 3 boyutlu olarak dijital donanımlar üzerinde sanal olarak oluşturulması ve animasyonunu sağlamaktadır (Yücel ve Selçuk 2005). Sanal Gerçeklik Modelleme Dili ile veriler farklı formatlara dönüşümü gerçekleştirilebilir ve farklı ortamlarda sunulabilir. Sanal Gerçeklik Modelleme dili, 3 Boyutlu Kapalı Alan Harita üretimi sırasında gerçekliği ölçme yöntemiyle alınan verilerin 3 boyutlu modellenmesine katkı sağlayabilir. Çıktılar sonucunda, kapalı alan içerisinde simülasyon ve animasyon faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Örneğin kapalı alanın Afet ve acil durum tatbikatları VRML ile yapılmış 3 boyutlu Kapalı Alan Haritaları üzerinden sağlanabilir.

2.1.2. Kat Planı Üzerinden Sayısallaştırma

Kapalı alanın bir seviyesindeki alanlar, odalar, trafik düzenleri ve diğer fiziksel özellikler arasındaki ilişkilerin kuş bakışı olarak, 2 boyutlu görünümünü gösteren ölçekli çizimlere kat planı denir. Kat planları elle çizilebileceği gibi CAD programları üzerinden dijital bir şekilde de çizimi gerçekleştirilebilir. Ölçekli çizildiği için kapalı alan haritası üretiminde ölçme işleminde referans oluşturabilir. Bu yüzden, eğer kat planı koordinatlı değilse coğrafi referanslama işlemi yapılmalıdır. CAD ve GIS yazılımları ile bu işlem sağlanabilir. Öncelikle, elle çizilmiş dijital olmayan ölçekli kat planları kaliteli bir tarayıcı ile dijital ortamda kaydedilir. Dijital bir şekilde çizilmiş kat planları ise ölçekli bir şekilde dijital çıktısı alınır. Elde edilen ölçekli kat plan çıktıları koordinatlandırılması gerekir (Nakajima, 2011). Koordinatlı bir altlık harita ile kat planı üzerinde coğrafi referanslama işlemi gerçekleşir. Koordinatlı kat planları, vektör veri formatı ile bir GIS programı üzerinde kat üzerindeki alanlar, odalar ve diğer fiziksel özellikler modellenir. Modelleme işlemi konu alan kapalı alan harita üretimi standartları bulunmaktadır. Bu standartların en bilinenleri IndoorGML ve Indoor Mapping Data Format(IMDF) olarak adlandırılmaktadır. GIS yazılımı üzerinden modellenen kapalı alanın mekansal veritabanı oluşturulabilir. Üretilen modeller ve veritabanları Yapısal Bilgi Modellemesi (BIM) için altlık oluşturabilir ve geliştirmeye katkı sağlar.

2.3. Standartlar

Kapalı alan haritalarının da belirli standartlara uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. Özel şirketler kendi harita uygulamalarına üretilen kapalı alan haritaları için kendi standartlarını oluşturmuştur. Örneğin, Apple Haritalar uygulamasına bir kapalı mekan haritası üretmek için IMDF standardına uyulması zorunludur. Uluslararası Gönüllü bir topluluk olan Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından kapalı alan haritaları için geliştirilen IndoorGML isminde standardı bulunmaktadır. Kapalı alan haritaları çok yeni ve gelişen bir alan olduğundan dolayı, bu alandaki standartların gelişim ve oluşum süreci devam etmektedir.

2.3.1. Indoor Mapping Data Format (IMDF)

Indoor Mapping Data Format (IMDF), herhangi bir kapalı mekan konumu için genelleştirilmiş, ancak kapsamlı bir veri modeli sağlayarak yönlendirme, gezinme ve keşif için bir temel bilgileri oluşturan; Apple tarafından geliştirilen bir standarttır. Üretilen kapalı alan haritalarının Apple ekosisteminde yer alması için IMDF standardına uyulması gerekmektedir. IMDF, bir mekansal veritabanının içeriğini ve özelliklerini açıklar. Veritabanının kullanım sırasında beklenen durumunun eksiksiz ve kapsamlı bir tanımını sağlamak için gerekli verileri, işlevsel olmayan gereksinimleri ve diğer faktörleri içerir. IMDF, verilerin nasıl üretildiğine değil nasıl kullanılacağına odaklanır. Bu standartta, kapalı alanın herhangi bir kavramsal veya fiziksel nesnesini “Özellik tipi (Feature Type)” olarak tanımlar. Her bir özellik nesnesi, bir iç mekan haritasının fiziksel veya kavramsal bir ögesini RFC 7946 uyumlu GeoJSON nesnesi olarak temsil eder. Her özellik nesnesinin GeoJSON üzerinde kişisel kimliği "ID" ve kategorisi tanımlanmalıdır. Her özellik nesnesinin öznitelik verilerinin girdileri, uluslararası belirlenen standartlara uyması zorunladır. IMDF’de 17 adet özellik tipi bulunmaktadır. Her özellik tipi belli bir amaca hizmet eder. Her özellik tipinin belirli öznitelikler bulunur. Mekansal veritabanı oluştururken bu özniteliklerin zorunlu olanlarına veri girişi sağlanması gerekmektedir. IMDF’de, zorunlu olarak belirtilen işlemler “must” kalıbıyla belirtilmiştir. IMDF teknik olarak özellik tiplerinin öznitelik tablolarını nasıl hazırlanması gerektiğini, kapalı alan içerisindeki fiziksel ve kavramsal nesnelere nasıl modellenmesi gerektiğinin ve modellenen vektörel şekil dosyalarının, ilgili özellik tiplerinin öznitelik tablolarıyla nasıl bir ilişkide olması gerektiğinin üzerinde durmaktadır. İlk olarak Venue (Mekanın bulunduğu alan) ve Building (Yapı) özellik tipleri modellenir. Ardından Level (Kat) özellik tipi modellenir. Katlar modellendikten sonra, Unit (Sınırlar) özellik tipinin modelleme işlemi gerçekleştirilir. Unit (Sınırlar), bir alanın mevcudiyetini, konumunu ve boyutunu gösterir. Unit (Sınırlar) modellendikten sonra kapalı alan navigasyonuna altlık sağlayan Opening (Kapılar) modellenir. IMDF’de Opening (Kapılar) çizgi tipinde modellenir. Footprint (Ayak izi) modellenerek yürünebilen alan modelde tanımlanır. Bu süreç modellemenin temel sürecidir. Bu süreç sonrasındaki modelleme işlemleri kapalı alan haritasının ayrıntısını belirler. Kiosk (Standlar), Amenity (ATM, Tuvalet gibi faydalar), Fixture (Özel çiçek havuz gibi süsler), Section (Yemek alanı gibi bölümler), Geofence (Park alanı gibi sınırlanmış bölgeler) özellik tipleri nokta, çizgi veya poligon tipinde modellenebilir. Nokta tipinde modellenen Anchor (Çapa), modellenen nesnelere özel verilerini içerir ve çapalandığı model ile ilişkilendirilir. Anchor (Çapa) ile herhangi bir hücresel boşlukla etkileşim haline geçilirse, o boşluk hakkında veriler sorgulanabilir. Manifest (Bilgi), Adress (Adres), Detail (Ayrıntı), Relationship (İlişki) ve Occupant ise modellenmeyen, modellenen özellik tipleriyle ilişki kurulan özellik tipleridir. Örneğin, Adress (Adres), Venue (Mekan) ile bağlantılıdır. OGC, IMDF’yi Topluluk standardı olarak 23 Şubat 2021 tarihinde kabul etmiştir. Topluluk standartları OGC dışında geliştirilen ve OGC üyeleri tarafından kabul edilip kural değeri taşıyan standartlardır.

2.3.2. IndoorGML

IndoorGML standardı Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından yayınlanan açık bir veri modeli ve kapalı alan bilgisinin XML şemasını belirtir. IndoorGML, hücresel boşluk modeli olarak tanımlanır (Kang vd. 2014). IndoorGML kapalı alan ekosistemi için navigasyon sistemleri bağlamı ve kısıtlamaları, boşluk alt bölümleri ve boşlukların bağlantı özellikleri, alanların topolojik ve semantik özellikleri son olarak navigasyon ağlarının mantıksal ve metrik ilişkileri konularını tanımlar. IndoorGML, kapalı alan içerisindeki en küçük örgütsel veya yapısal birimleri hücre olarak belirtir. Hücreler birbirinin üzerinde olamaz. Hücre geometrisi 2 veya 3 boyutlu olabilir. IndoorGML, hücreler arası topolojiye de odaklanır. Topoloji Poincare Duality teoremiyle oluşturulur. Poincare Duality, n boyutlu bir uzayda k boyutlu bir nesne (n-k) boyutlu bir nesneyle eşleşir. Dönüşen nodelar ve edgeler bitişik hücreleri birbirine bağlayan grafik ile temsil edilir. Grafik mantıksal veya geometrik grafikler olarak sınıflandırılabilir. Geometrik grafikler ile mesafe ölçümü gerçekleştirilebilir. Her hücre semantik anlamlar içerir. Hücrelerin alt bölümü alanın topografyasını, WiFi kapsama alanını, güvenlik alanlarını veya genel/ofis alanlarını gösterebilir. Her hücrenin alt bölümlerine semantik anlamlar verilir: gezilebilir (oda, koridor, kapılar, vb.) veya gezilemez (duvar, engeller, vb.). IndoorGML iki kavramsal çerçeveye dayanmaktadır: Çok Katmanlı Uzay Modeli (MLSM) ve Yapılandırılmış Uzay Modeli. Kapalı alanların bazı hücresel alanları farklı semantik anlamlarda yorumlanabilir. Örneğin, kapalı alanda odalar, koridorlar ve merdivenlerden oluşan bir topografik hücresel alan olarak temsil edilirken, aynı zamanda WiFi kapsama hücreleri ve RFID sensör kapsama hücreleri gibi farklı hücresel alanlar olarak temsil edilebilir. Birden çok hücresel alan katmanı içeren bu temsil yöntemine Çoklu Katmanlı Uzay Modeli (MLSM Gösterimi) adı verilir. Yapılandırılmış uzay modeli, temsil ettiği belirli uzay modelinden bağımsız olarak her uzay katmanının genel düzenini tanımlar. Bu şekil bir standart yapısı kapalı alan

ekosisteminde verilerin dönüşümü ve değişimi etkin kılar. OGC diğer standartlarıyla birlikte çalışabilir sistemler oluşturulabilir. IndoorGML kapalı ve açık alanlar arasında ek topoloji elemanları tanımlayarak alanların birbiriyle bağlanması için bir kavram sağlar. Her kapalı alan en az bir giriş içerir ve bu girişler kapalı ve açık alanları birbirleriyle bağlanması için kullanılabilir. IndoorGML, kapalı alan içerisinde navigasyonu sağlamaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmesini sağlar (Kang vd. 2014).

2.4. Modelleme ve Kartografik Model

Kapalı Alan Haritaları, birçok amaca hizmet edebilir. Kapalı Alan içerisinde sahip olduğu yoğun ve değişken mekansal veriden en doğru yol ile kullanıcıya bilgi olarak aktarılmalıdır. Bu hedefe ulaşabilmek için çeşitli görselleştirme teknikleri uygulanır. Piksel tabanlı görselleştirme tekniği ile her bir piksel bir veri değerini ifade etmektedir. Her değer bir renk ile temsil edilir. Bir rengin alt tonları ile kullanıldığında algılanabilirlik düzeyi artırılıp, mekansal veriler karşılaştırılabilir. Kapalı alanlar, ölçme sonucunda mekanın fiziksel yapısı ve nesnelere grafik gösterimler ile modellenerek kartografik model oluşturulur. Kapalı alanlar içerisinde bulunan bir çok değişik türde mantıksal ve fiziksel nesnelere mekansal bilgi yoğunluğunu doğurur. Kapalı Alan haritaları çeşitli öznelik verilerinin bulunduğu çok katmanlı bir veritabanına sahiptir. Veri Tabanlarına örnek olarak hüresel boşluklar, navigasyon için yürüyüş adımları, giriş-çıkış hücreleri ve yürüyen merdiven gibi faydaların öznelikleri verilebilir. Alanda bulunan fiziksel ve mantıksal nesnelere konumları, türleri veya nicelikleri sürekli değişim halinde olabilir. Kapalı alan haritalarında mekansal veritabanının farklı ölçek, amaç ve çözünürlükteki çeşitli gösterimleri bulunmaktadır. Bu sebeple, Çoklu Gösterim Veritabanı kavramı ortaya çıkmıştır. Kullanıcılar, Çoklu Gösterim Veritabanı ile amacına uygun olarak, istenen ölçek ve çözünürlükte haritalar elde edebilir (Doğru 2009). Mekansal bilgi yoğunluğu, fiziksel veya mantıksal nesnelere zaman içinde değişimi ve çoklu gösterim veri tabanı, model oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar olarak belirtilebilir. Kartografik model oluşturulurken, geleneksel açık alanda üretilen kartografik modellere yapılan genelleştirme, işaretleştirme ve abartma gibi uygulamalar kullanılır (Chen ve Clarke 2020). Amaçlarına göre çeşitli kartografik model üretilebilir. Örneğin, afet acil durumlar için çıkış alanları ve açık-kapalı alan entegrasyonu için projeksiyon işlemi gerçekleştirilmiş bir kartografik modelleme yapılabilir. Kapalı alan harita üretimindeki kartografik bilimi ve tekniği açıklamak açısından Kapalı Alan Kartografyası terimi ortaya çıkmıştır. Kapalı Alan Kartografyası, kapalı alan haritasının kullanımı, üretimi ve inceleme bilimi, sanatı ve teknolojisidir (Chen ve Clarke 2020). Uluslararası Kartografya Birliği (ICA), Kapalı Alan Kartografyası ile ilgili çalışma atölyeleri ile bu alanda gelişme göstermeyi amaçlamaktadır.

3. Kapalı Alan Konum Belirleme

Kapalı alanlarda GNSS sinyallerinin yeterli doğrulukta konum bilgisi üretmemesi, sinyal kaybı (LoS) gibi nedenler bu alanlarda GNSS' ten bağımsız konum belirleme yöntemlerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Kapalı alanlardaki geliştirilen bu yöntemlere "kapalı alan konum belirleme sistemleri (IPS)" denir. Kapalı alan konum belirleme sistemleri mobil cihazlar vasıtasıyla alanlardaki kullanıcıların ya da objelerin herhangi bir zamandaki konumunu bulmak için kullanılır. Kapalı alanlarda konum belirlemek için birçok teknik, yöntem ve algoritmalar bulunmaktadır. Radyo frekans tabanlı teknikler hüresel (GSM), Wi-Fi tabanlı, Bluetooth tabanlı, RFID tabanlı ve ultra geniş bant (UWB) tabanlı olarak çeşitlendirilmektedir. Radyo frekans tabanlı teknikler bazı avantajlara sahiptir. Radyo dalgalarının duvarlardan ya da engellerden kolaylıkla geçebilmesi, geniş kapsama alanına sahip olması, düşük maliyetli olması ve daha az donanım ihtiyacı duyulması bu avantajlar arasında yer alır. Bu teknikler birkaç farklı yöntemle uygulanabilmektedir. Bu yöntemler model tabanlı ve parmak izi tabanlı yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Model tabanlı yöntemler ise kendi içerisinde yakınlık (proximity) ve üçgenleme (triangulation) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Üçgenleme yönteminde açı tabanlı, zaman tabanlı ve sinyal özelliği tabanlı konum belirleme yöntemleri yer almaktadır.

3.1.1. Konum Belirleme Teknikleri

3.1.1.1. WLAN (Wi-Fi) ile Konum Belirleme

WLAN (Wireless Local Area Networks, IEEE 802.11) standardı son yıllarda popüler bir konum belirleme teknolojisi haline gelmiştir. Wi-Fi sinyallerinin duvar ya da engellerden geçebilmesi geniş kapsama alanına sahip olması bu teknolojinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Wi-Fi ile konum belirlemede parmak izi yöntemi ya da yayılma modeli kullanılır. Parmak izi yönteminde ortamdaki konumu belirlenecek olan cihazın Wi-Fi cihaz bilgisi (MAC ID) ve alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) verileri elde edilerek eşleşir. Hassas konum belirlemek için bir öğrenme süreci gerekir. Bunun için farklı noktalarda sinyal gücü ölçülür ve ortamın sinyal haritası çıkarılır. Sinyal gücü haritasına göre cihazdan gelen sinyalin gücü karşılaştırılarak cihazın konumu kestirilir. Bu aşama çevrimiçi aşama olarak nitelendirilir. Çevrimdışı aşamada ise MAC ID ve RSSI verileri üzerinde enterpolasyon gerçekleştirilerek veritabanında saklanır. Enterpolasyon elde bulunan veriler ile yeni veriler üretilmesini sağlar ve eldeki verilerin aralığında yeni, bilinmeyen bir değer tahmini olarak son kullanıcı için konum belirler. Yayılma modeli yöntemi ise iki aşamadan oluşur. İlk aşamada mobil cihaz ile WiFi erişim noktası arasındaki mesafeler sinyal yayılma modelleri kullanılarak belirlenir. İkinci aşamada üçgenleme, en

küçük kareler yöntemi, genişletilmiş kalman filtresi gibi yöntem ve algoritmalar kullanılarak üç veya daha fazla mesafe kullanılır.

3.1.1.2. Bluetooth ile Konum Belirleme

Günümüzde çoğu mobil cihazda bluetooth teknolojisi yer almaktadır. Bu teknoloji kullanılarak mobil cihazlarla etkileşime geçilebilir ve konum belirleme yöntemi olarak kullanılabilir. Bluetooth teknolojisi aslında çok enerji tüketen bir sistemdir. Bu yüzden Kapalı alan konum belirleme sistemlerinde düşük enerji tüketen “Bluetooth Low Energy (BLE)” teknolojisi kullanılmaktadır. BLE ile kapalı alanlarda konum belirleme işleminde ilk aşamada RSSI yayılım modelini bulmak için referans noktaları belirlenir ve bu noktalar birbirlerine göre karşılaştırılır (Jianyong vd. 2014). Diğer aşama ise gerçek zamanlı olarak (real time) RSSI göstergesindeki anormalliklerin tespit edilip düzeltilmesi işlemidir. Daha sonra kapalı alanda bir BLE modeli oluşturulur ve alan ile mekansal ilişkisi kurulur. Bununla birlikte referans noktaları için öğrenme süreci başlar. Bluetooth teknolojisinde referans noktaları için işaretçi (beacon) denilen cihazlar kullanılır. İşaretçiler sinyal yayımlayarak mobil cihazlarla bilgi alışverişinde bulunur. İşaretçiler aktif öğrenme sürecinde model üzerinde düzenlemeler gerçekleştirir ve sinyal gücünü ölçer (Jianyong vd. 2014). Alınan bu sinyal güçleri mobil cihaz ile bluetooth etiketleri arasındaki uzaklığı tahmin etmede kullanılır. Bluetooth tabanlı konum belirlemede genellikle üçgenleme (triangulation) yöntemi kullanılarak uzaklık tahmini yapılır ve kullanıcının konumu bu tahminlere göre belirlenir.

3.1.1.3. Ultra Geniş Band (UWB) ile Konum Belirleme

Ultra geniş band teknolojisi (UWB) , yüksek band genişlikli radyo frekansı kullanarak veri aktarma işlemidir. Bluetooth ve WiFi' nin aksine, UWB tekniği kapalı alandaki konumu için radyo frekansı sinyallerinin varış zaman farkı (TDOA) üzerinden belirlenir (Alarifi vd. 2016). TDOA, düşük enerji tüketimi ile hiperbolik denklem tabanlı bir konum belirleme yöntemidir. UWB teknolojisi ile az enerji tüketerek yüksek boyuttaki veriler iletilebilmektedir. UWB teknolojisi, “tag” adı verilen etiketleri UWB sinyallerini yayan bir verici ile UWB sinyallerini alan bir alıcı çerçevesinde işler. Bu çerçeve içerisinde hem statik hem dinamik ölçmeler gerçekleşir (Küçük 2016). Bu teknoloji, kapalı ortamlarda sinyallerin çok yönlü dağılım sorununun azaltılmasını sağlayarak daha doğru konum tespiti yapmaktadır. Ultra geniş bant ile konum doğruluğu 5-20 cm aralığında olabilmektedir. UWB' nin bu şekilde avantajları olmasına rağmen donanım maliyetleri yüksektir ve çalışma alanı yaklaşık 150 metre ile sınırlıdır(Alarifi vd. 2016).

3.1.1.4. Radyo Frekans ile Tanımlama (RFID) ile Konum Belirleme

Radyo frekans tabanlı teknolojiler kapalı alan konum belirlemede en yaygın kullanılan tekniklerden bir tanesidir. Radyo frekansı ile tanımlama (RFID), radyo sinyallerini kullanarak veri aktarma işlemidir. Bu bileşenlerin iletişimini sağlayan RF protokolü bulunmaktadır. RFID tekniğini iki türe ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki aktif diğeri ise pasif sistemlerdir. Aktif sistemler kendi güç kaynaklarını barındırır ve sinyal yayını yapar. Pasif sistemler ise okuyucudan gelen radyo dalgalarını enerji olarak kullanır. Aktif RFID sistemlerinin kapsama alanı geniş (100 metreye kadar kapsama alanı sunulabilmektedir) iken pasif RFID sistemlerinin kapsama alanı oldukça küçüktür (4 metreye kadar kapsama alanı) ve pasif sistemler RFID etiketi okuyucusunun kapsama alanına girdiğinde aktif hale geçerler ve okunan bilgiyi sinyal vericisine aktarırlar. Ayrıca alıcı ile vericinin birbirini görmesi gerekmez. RFID tekniğinde kapalı alanda farklı bölgelere okuyucular yerleştirilir ve bu okuyucular RFID etiketinden gelen sinyalleri okur ve okunan bu sinyallerden anlamlı bilgiler (konum bilgisi gibi) çıkarır ve bu bilgileri gönderecek olan etiketleri meydana getirir. Bu etiketler aynı zamanda bir veri tabanında tutulur. RFID teknolojisi ile kapalı alan konum belirleme sistemi oluşturulurken farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlar üçgenleme (triangulation) ve referans etiketleri şeklindedir (Xu vd. 2017).

3.1.2. Kapalı Alan Konum Belirlemede Kullanılan Yöntemler

3.1.2.1. Varış Zamanı (ToA)

Bu yöntemde kapalı alanda bulunan alıcı ve verici arasındaki mesafe vericiden alıcıya gönderilen sinyalin gönderilme süresi ile bulunur. Gönderilen sinyalde ayrıca gecikme süresi ve sinyalin hızı parametreleri konum belirlemek için kullanılır. Sinyalin alıcıya ulaşma süresi ile sinyal hızı büyüklüğünün çarpımı alıcı ile verici arasındaki mesafeyi verir ve bu mesafeye dayanarak alıcının yani mobil cihazın konumu belirlenir.

3.1.2.2. Varış Yönü (DoA)

Direction of Arrival (DoA), sinyalin varış yönü prensibini baz alır. Birden fazla sensör dizisi kullanılarak hedef üçgenleştirilir, sensörlerin varış yönleri kesiştirilir. Sensörler yalnızca varış yönünü tahmin edebilir. Birden fazla sensörlerin eş zamanlı varış yönü tahmininin kesişim sonucu hedefin varış yönüdür. Hedefin yönü belirlendikten sonra konum bilgisi üretmek amacıyla algoritma bulunmaktadır.

3.1.2.3. Varış Açısı(AoA)

Varış açısı açı tabanlı bir konum belirleme yöntemidir. Bu yöntemde bir vericiden alıcıya (mobil cihaz) gönderilen sinyalin alıcı ile yaptığı açı baz alınır. Alıcının konumunu belirlemek için ise en az üç adet verici (referans noktası) bulunması gerekir. Bu bağlamda alıcı ile verici arasında en az üç adet açının kesişimi olması gerekir. Kesişim noktası bulunduğundan sonra alıcının konumu belirlenir.

3.1.2.4. Varış Zaman Farkı (TDoA)

Bu yöntemde mobil cihazdan iletilen sinyalin, erişim noktalarına ulaşma zamanları arasındaki farklardan, kullanıcının bağlı konumu belirlenir (Ballazhi 2012). Konum belirlemek için en az üç bölgesel erişim noktası gerekir. İlk olarak her erişim noktası çifti arasındaki sinyal varışının zaman farkı hesaplanır ve bu fark ile hiperbolik eğriler çizilir ve eğrilerin kesişim noktası mobil cihazın konumunu verir.

3.1.2.5. Üçgenleme (Triangulation)

Üçgenleme yönteminde sensörler arası mesafe bilinerek, hedefe doğru olan açılar ile üçgenin geometrik özelliklerini kullanarak konum bilgisi üretilir. 2 sensörün arası mesafe ölçülür, ardından hedef ile iletilen sinyaller çerçevesinde sensör-hedef açıları ölçülür. Basit bir üçgen oluşturulur. Bilinen bilgiler bir kenar iki açıdır. İki açısı ve bir kenarı bilinen üçgenin diğer kenarları kosinüs teoremi ile bulunabilir.

3.1.2.6. Radyo Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI)

Radyo sinyali gücü göstergesi kapalı alanlarda konum belirlemek için sık kullanılan bir yöntemdir. Bu algoritmanın çalışma prensibi esasında şöyledir: Alıcıya gelen sinyaldeki güç kaybı ile sinyal yayan vericinin alıcıya olan uzaklığı arasında ilişkilendirme yapılmaktadır. Sinyal güç kaybı ne kadar fazla ise alıcı ve verici arasındaki mesafe de o kadar kötü olmaktadır. Sinyalin yayılma sürecindeki güç kaybını belirlerken sinyal yayılım modeli kullanılmaktadır ve bu model logaritmik formüllerle ifade edilmektedir (Zheng vd. 2011).

3.1.2.7. Parmak İzi (Fingerprint)

Parmak izi yöntemi mesafe ve açıdan bağımsız olarak işler. Parmak izi yönteminde, bir sensörün konum bilgisi ve sinyal dağılım özellik verilerini toplanır ve bir veritabanında depolanır. Ardından hedef ile karşılaşıncaya bu bilgileri tekrar çağrılır ve konum bilgisi üretilir. Parmak izi yöntemi, bir WiFi cihazının bir WiFi kapsama alanındaki konumunu belirlemek için veritabanındaki verileri kullanır (Wang ve Jia 2007). Parmak izi yöntemi çevrimiçi ve çevrimdışı olarak iki fazda gerçekleşir (Brás vd. 2012). Çevrimdışı aşamada kapalı alanlar gridlere bölünür. Her grid bölümünde sensörlerin RSSI değerleri listeli bir biçimde oluşturulur. Çevrimiçi aşamada hedef konumun alınan RSSI değerlerine göre en uygun grid ile eşleşir ve konum bilgisi üretilir.

3.2. Kapalı Alanda Navigasyon

Kapalı alan içerisinde belirlenen konumdan hedeflenen konuma gidiş için rota oluşturma işlemine kapalı alan navigasyonu tanımlanabilir. Kapalı alan Navigasyonu, kapalı alandaki ağ modellerini üretip, en uygun rotayı hesaplar. Kapalı alan içerisinde bulunan fiziksel ve kavramsal nesnelerin anlamları tanımlanmalıdır. Semantiklik bir anlam bilimidir. Semantiklik, kapalı alan navigasyonu için özellikle önemlidir, çünkü gezilebilir alanların tanımlanması, odalar arasındaki bağlantının çıkarılması, makine tarafından okunabilir ilgi çekici noktaların (POI) oluşturulması ve rehberlik için esnek destek sağlama gibi işlemler navigasyon sürecini kolaylaştırabilir (Liu vd. 2013). Kapalı alan navigasyonu için ilgi çekici noktanın ve kullanıcının konum bilgisi gerekmektedir. Bu nedenle navigasyon işleminde, kapalı alan ekosistemi içerisindeki elemanlarının hepsinden faydalanılır. Kapalı alanların geometrik modelleri, navigasyon için ağlar oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Meijers vd. 2005, Boguslawski ve Gold, 2009). Alanın geometrisine bağlı olarak rota belirlemeyi kolaylaştırmak için uygun bir topolojik veri yapıları türetilir. Topolojik veri yapıları kapalı alanın yapısını basitleştirir ve navigasyon hesaplamasını kolaylaştırır. Uygulanabilir bir rota belirlemek için kapalı alanlarda navigasyon için bazı algoritmalar tanımlanmıştır. Esasında kapalı alan navigasyonu hesaplamaları en kısa yol algoritmasına dayanır (Xiong vd. 2015). Ancak en kısa yol algoritması her zaman uygun olmayabilir. Bu yüzden en kısa yol algoritmalarının yanında en az riskli ve en basit yol algoritmaları da geliştirilmiştir. Bu algoritmaların oluşturulabilmesi için ilk önce kapalı alanın modelinin oluşturulması gerekir. Bu algoritmalar grafiksel ya da gridler şeklinde kapalı alanları temsil eder. Alanları modellemede en küçük birim hücredir. Hücreler, odaları, koridorları, duvarları vs temsil etmektedir. Modellemede hücreleri birbirine bağlayan bağlayıcılar kullanılır. Bağlayıcılar merdivenler, asansörler veya yürüyen merdivenler olabilir. Hücrelerin bir araya gelmesiyle çizgeler meydana gelir.

4. Konuma Dayalı Hizmetler ve Mobil Uygulamalar

Konuma dayalı hizmetlerin çerçevesinde mekansal analizler temel bileşeni oluşturur (Jiang ve Yao 2006). Kapalı alan ekosistemi tabanında çalışan konuma dayalı hizmetler, mekansal analiz ile yararlı işlemler gerçekleştirebilir. Kapalı alan ekosistemi özelinde konuma dayalı hizmetler ile mekansal analiz entegrasyonuna insan yoğunluğu haritası örneği verilebilir. İnsan yoğunluğu ilgili kapalı alanda mekansal analiz yöntemleriyle elde edilir. Otonom temizlik robotları, kapalı alan ekosisteminden faydalanarak yoğunluk analizi yapılan alanda daha etkin temizlik faaliyetleri gerçekleştirebilir. Kapalı alan ekosistemi kapalı alan yönetimine katkı sağlayabilir. Güvenlik gibi önemli etkinliklerde kapalı alan ekosistemi kullanılabilir. Covid-19 sürecinde sosyal mesafe takibi sağlanabilir. Kapalı alan ekosistemi, kapalı alanların afet acil durum planlama işlemlerine fayda sağlayabilir. Konuma dayalı hizmetlerinin gayesi anlaşılır ve amacına uygun şekilde kullanıcıya görsel olarak aktarılabilmesi ise, mekansal görselleştirme yöntemlerine başvurulabilir (Jiang ve Yao 2006). Kapalı alan ekosisteminde uygulanan konuma dayalı hizmetlerin görselleştirme aşamalarına da önem gösterilerek, haritanın kullanıcıya anlaşılır bilgi verme amacı gerçekleştirilebilir. Kapalı alan navigasyonu içerisinde, alanların tematik bilgisi veya hizmet alanlarının (tuvalet, atm vb.) görselleştirmesi sağlanabilir. Kapalı alan ekosistemi kapsamında üretilen haritalar birçok farklı boyuta sahip cihazlar üzerinden kullanılabilir. Bu farklı boyuttaki cihazlar için, kullanıcılara doğru ve anlaşılır konuma dayalı hizmetler sağlayabilmek, mekansal görselleştirmeye başvurulur. Kapalı alan mekansal verilerinin küçük bir ekranda açıkça anlaşılır bir şekilde nasıl sunulacağı ve değişen bağlamlara uyum sağlayan haritaların nasıl tasarlandığı mekansal görselleştirme problemidir (Jiang ve Yao 2006). Bu çerçevede kapalı alan ekosistemi kullanıcılara çeşitli sektörler üzerinden sunulabilir. Kapalı alan ekosistemi genellikle mobil uygulamalar ile kullanıcıya ulaşır. Bu nedenle çeşitli kapalı alan ekosistemi içeren mobil uygulamalar üretilmiştir. Sesli Adımlar mobil uygulaması engelli bireylerin kapalı alan navigasyonuna katkı sağlar. Apple ve Google kendi harita uygulamalarında kapalı alan ekosistemini kullanmaktadır. Perakende ve ulaştırma sektörlerinde bazı ticari işletmeler kapalı alan içerisinde müşteri deneyimini geliştirmek için kapalı alan ekosistemini kullanır.

5. Sonuç

Halihazırda açık alanda konum bilgisi üretiminde yüksek deneyime sahip harita mühendislerinin kapalı alanlarda harita üretimi hakkında teknikler, sistemler ve bilgiler üzerinde çalışmalar yapıldı, Çalışma kapsamında kapalı alan ekosistemi çerçevesi belirlendi. Kapalı Alan Ekosistemi, kapalı alanda konum deneyimini en üst düzeye çıkarabilecek bir etkidir. Bu teknolojiyi kullananlar, kapalı alan yönetiminden maksimum derecede fayda sağlayabilecek noktaya erişebilirler. Gelişen teknoloji ve kurulan sistemler sayesinde kapalı alan ekosistemi üretimi ve kullanımı kolaylaşacak ve hayatımızın önemli bir parçası olacaktır.

Kaynaklar

- Karabey, K., & Bayındır, L.** *Wi-Fi Tabanlı Parmak İzi Yöntemi Kullanarak İç Ortam Konumlandırma*. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eroğlu, O., Doğan, M.** (2019). Konum Tabanlı Hizmetler, Bluetooth Tabanlı İç Mekan Konumlandırma Hizmeti, Antalya İli Örneği . *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 23-25.
- Kang, H. K., & Li, K. J.** (2017). A standard indoor spatial data model—OGC IndoorGML and implementation approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 116.
- Güney, C.** (2017). Rethinking Indoor Localization Solutions Towards The Future of Mobile Location-Based Service. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV4/W4.
- Ergen, E., İter, D. A., Tekçe, I. A., Kula, B., & Dönmez, D.** Bina İç Mekanlarında Konumlandırma Teknolojilerinin Kullanıcı Geri Bildirimleri Toplanması Açısından Değerlendirilmesi.
- İlçi, V., Çizmeci, H., Alkan, R. M., Gülal, V. E., & Coşar, M.** (2016). RSS-based indoor positioning with weighted iterative nonlinear least square algorithm. *ICWMC 2016*, 117.
- Akleyek, S., Kılıç, E., Söylemez, B., Aruk, T. E., & Yıldırım, A. Ç.** (2020). Kapalı Mekan Konumlandırma Üzerine Bir Çalışma. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 90-105.
- Ortiz, J. C. G., Silvestre-Blanes, J., Sempere-Paya, V., & Tortajada, R. P.** (2020). Feasibility of Bluetooth 5.0 connectionless communications for I2V applications. In *2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)* (Vol. 1, pp. 1119-1122). IEEE.
- Barut, M., Bayrak, Ö., Temizyürek, Ç., & Türkyılmaz, O.** (2006). Hüresel Ağlarda Konum Belirleme İçin RSS Tabanlı Çözümler.

Yücel, M. A., & Selçuk, M. (2005). Coğrafi sanal gerçeklik modelleme dili ve 3B kartografya. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10.

Nakajima, M. (2011). Path planning using indoor map data generated by the plan view of each floor. *pictogram*, 50, 50.

IndoorGML OGC. (2021). IndoorGML, <http://www.indoorgml.net/> [Erişim tarihi: 20 Nisan 2021]

Home - Indoor Mapping Data Format (1.0.0). (2021). IMDF, <https://register.apple.com/resources/imdf/> [Erişim tarihi: 20 Nisan 2021]

Kang, H. K., & Li, K. J. (2017). A standard indoor spatial data model—OGC IndoorGML and implementation approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 116.

Chen, J., & Clarke, K. C. (2020). Indoor cartography. *Cartography and Geographic Information Science*, 47(2), 95-109.

Doğru, A. Ö. (2009). *Çoklu gösterim veritabanları kullanılarak araç navigasyon haritası tasarımı için kartografik yaklaşımlar* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Jiang, B., & Yao, X. (2006). *Location-based services and GIS in perspective*. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), 712-725.

Uluğtekin, N., & Doğru, A. Ö. (2005). Coğrafi bilgi sistemi ve harita: kartografya. *CBS Sempozyumu*.