

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME VE NAVİGASYON TEKNİKLERİNİN
FARKLI UYGULAMA ALANLARINDA ETKİN KULLANIMINA İLİŞKİN BİR
SÜREÇ MODELİ YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus BAL

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Caner Güney

Mayıs 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME VE NAVİGASYON TEKNİKLERİNİN
FARKLI UYGULAMA ALANLARINDA ETKİN KULLANIMINA İLİŞKİN BİR
SÜREÇ MODELİ YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yunus BAL
(706111005)**

Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Caner GÜNEY

Mayıs 2018

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 706111005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus BAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Kapalı Alan Konum Belirleme ve Navigasyon Tekniklerinin Farklı Uygulama Alanlarında Etkin Kullanımına İlişkin Bir Süreç Modeli Yaklaşımı” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğretim Üyesi Caner GÜNEY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Burak AKPINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Aralık 2017**
Savunma Tarihi : **11 Mayıs 2018**



Eşime ve çocuklarıma,





ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi yüksek lisans öğrencisi olarak bölüme başladığım ilk günlerden beri ilgimi çeken kapalı mekan navigasyon sistemleri konusunda tez çalışması yapmak benim için çok heyecan verici oldu. Bana bu konuda akademik desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Caner GÜNEY'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans sonrası da bu konu ile ilgili daha ileri düzeyde çalışmalar gerçekleştirmek istemekteyim.

Mayıs 2018

Yunus BAL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Kapalı Mekan Konum Belirleme	2
2. KAPALI MEKAN KONUM BELİRLEME	3
2.1 Kapalı Alan Konum Belirleme Teknolojileri.....	4
2.1.1 NFC ve RFID	4
2.1.2 WiFi ile konum belirleme	6
2.1.3 Ultrasonik teknik ile konum belirleme.....	6
2.1.4 UWB ile konum belirleme	7
2.2 Kapalı Alan Konum Belirleme Yöntemleri	10
2.2.1 Alınan sinyal güç göstergesi	10
2.2.2 Triangülasyon (Üçgenleme).....	10
2.2.3 GPS/Cellular/WiFi triangülasyon	10
2.2.4 Trilaterasyon	11
2.2.5 WiFi ile parmak izi	12
2.2.6 BLE sinyaller	12
2.2.7 LED ışıkları.....	12
2.2.8 Diğer sensörler	13
2.3 Başarım Ölçütleri	13
2.3.1 Doğruluk	13
2.3.2 Presizyon	13
2.3.3 Kapsama alanı	14
2.3.4 Uyumluluk	14
2.3.5 Ölçeklenebilirlik.....	14
2.3.6 Maliyet	14
3. KAPALI ALAN HARİTA ÜRETİMİ	17
3.1 Haritalar ve İlgili Noktaları	17
3.2 Binaların Etiketlenmesi.....	18
3.3 Farklı Katlar Arası Bağlantıların Modellenmesi.....	21
3.4 Harita Üretim Arayüzü.....	23
3.5 Harita Üretimi	24
3.6 Veri Modeli	26
3.7 En Kısa Yol Algoritmaları	26
3.7.1 Bellman Ford algoritması.....	26

3.7.2 Dijkstra algoritması	28
3.7.3 Floyd-Warshall algoritması.....	29
3.7.4 A* algoritması	30
4. KAPALI ALAN HARİTA ÜRETİM KATKISI	33
4.1 Planlama Süreci	33
4.2 Veri Üretim Süreci	33
4.3 Donanım Tedarik ve Kurulum Süreci	34
4.4 Konumsal Hizmet Süreci.....	35
4.5 Kapalı Mekan Veri Katmanları	38
5. KONUM SERVİSLERİNİN UYGULAMA ALANLARI	41
5.1 Sağlık Kuruluşları.....	41
5.2 Otopark Uygulamaları	41
5.3 Müzeler.....	41
5.4 Lojistik.....	42
5.5 Yardıma Muhtaç İnsanlar için Rehberlik	42
5.6 Yeraltı İnşaatı	42
5.7 Arttırılmış Gerçekliğe (AR) Dayalı Uygulamalar	43
5.8 Market Uygulamaları.....	43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER	51
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

GPS	: Global Positioning System
GML	: Geographic Markup Language
GIS	: Geographical Information Systems
RFID	: Radio Frequency Identification
RSSI	: Received Signal Strength Indicator
ToA	: Time of Arrival
AR	: Augmented Reality
AoA	: Angle of Arrival
AG	: Arttırılmış Gerçeklik
BLE	: Bluetooth Low Energy
UWB	: Ultra Wide Band
OSM	: Open Street Map
BIM	: Building Information Model
IndoorGML	: Indoor Geographical Markup Language
CityGML	: City Geographical Markup Language



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yöntemlerin Avantaj-Desavantaj tablosu.	9
Çizelge 2.2 : Başarım Ölçütleri	15
Çizelge 3.1 : POI etiketleme.	18
Çizelge 3.2 : Katlardaki farklı elementlerin modellenmesi.	19
Çizelge 3.3 : Temel katlardaki elemenlerin detaylı gösterimi.	20
Çizelge 3.4 : Temel katlardaki bağlantı elemenlerin gösterimi.	21
Çizelge 3.5 : Katların gösterimi.	22
Çizelge 3.6 : Bellman-Ford Algoritması Python Kodu.	27
Çizelge 3.7 : Kodun Çıktısı.	28
Çizelge 4.1 : Kapalı Mekan Konumsal veri model katman önerisi.	39



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kapalı mekan konum örneği.	1
Şekil 2.1 : Farklı kapalı mekan teknolojileri karşılaştırması.	4
Şekil 2.2 : Aktif RFID ile taşıt tanıma.	5
Şekil 2.3 : Türkiye’de HGS.	5
Şekil 2.4 : Wifi ile konum belirleme yöntemi.	6
Şekil 2.5 : Ultrasonik konum belirleme.	7
Şekil 2.6 : Decawave DW1000 chipseti.	8
Şekil 2.7 : Localino UWB çalışma örneği.	8
Şekil 2.8 : Triangüasyon.	10
Şekil 2.9 : Trilaterasyon.	11
Şekil 3.1 : Harita üzerinden POI işaretlerinin basit bir kullanımı.	18
Şekil 3.2 : Temel katlardaki elementler.	19
Şekil 3.3 : Karmaşık bina örneği.	22
Şekil 3.4 : Google Kapalı Mekan Harita giriş ekranı.	23
Şekil 3.5 : Point Cloud ile harita üretimi.	24
Şekil 3.6 : Osiris uygulamasının JOSM ile örnek harita üretimi.	25
Şekil 3.7 : çok katlı binanın sembolik gösterimi.	26
Şekil 3.8 : Dijkstra algoritması için örnek problem.	29
Şekil 3.9 : Dijkstra algoritması için örnek problem çözümü.	29
Şekil 3.10 : A* algoritması için örnek problem çözümü.	31
Şekil 4.1 : Konumsal servisler için iş planı.	36
Şekil 4.2 : Kapalı Mekan Navigasyon işlem adımları.	37
Şekil 5.1 : Arttırılmış gerçeklik POI örneği.	42



KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME VE NAVİGASYON TEKNİKLERİNİN FARKLI UYGULAMA ALANLARINDA ETKİN KULLANIMINA İLİŞKİN BİR SÜREÇ MODELİ YAKLAŞIMI

ÖZET

Bu tez çalışmasında kapalı mekan konum belirleme teknikleri, bu teknikler arasındaki farklar, performans kriterleri incelenmiştir. Kapalı mekan konum verilerinin kullanıldığı harita üretim teknikleri ve sektörde kullanılan çözümler incelenmiştir.

Konum bulma algoritmalarından triangülasyon, trilaterasyon ve parmak izi (fingerprint) yöntemleri ile en kısa yol algoritmalarından Bellman Ford, Dijkstra, Floyd-Warshall Ford, A* arama algoritmaları incelenmiş ve bu yöntemlerin farklı bina türlerine göre avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Uygulamada en yaygın kullanılan kapalı mekan konum belirleme algoritmaları triangülasyon ve parmak izi yöntemleridir. Ayrıca uygulamada bluetooth cihazları ile kapalı mekan konum belirleme WiFi teknolojisine göre daha yaygın tercih edilmektedir. Düşük maliyet ve mobil cihazlarda uyum sorunu olmamasından dolayı ekonomik ve pratik olarak avantajlı olduğu görülmektedir. Kapalı mekan konum belirleme çözümlerinde şimdiye kadar belirlenmiş bir standart bulunmadığı için pek çok firma kendine göre yazılım çözümleri geliştirmektedir. Benzer bir sorun işletim sistemi geliştiren firmaların cihazlar arası haberleşmek için kendi belirledikleri standartlarda yazılım çözümleri geliştirdikleri ve bu cihazların teknolojinin ilerlemesi ile farklı cihazlar ile haberleşmesi ihtiyacı pek çok sorunu beraberinde getirmiştir. Kapalı mekan navigasyon çözümlerinde OSI Katmanları referans alınarak altı katmandan oluşan standart önerisi yapılmıştır. Bu katmanlardan Fiziksel Katman, Network Katmanı, Sinyal Katmanı, Algoritma, Konumsal Katman ve LBS Katmanı olarak adlandırılmış ve veri iletişim sırasının bu katmanları üzerinden sırası ile işlenmesi gerektiği anlatılmıştır. Ayrıca Kapalı Mekan Konum belirleme tekniklerinde performans kriterleri üzerinde detaylı incelemeler yer almaktadır. Doğruluk, Hassasiyet, Kapsama, Uyumluluk ve Ölçeklenebilirlik olarak belirlenen bu performans kriterleri incelenmiştir. Kapalı mekan konum belirleme işi için yol haritası çıkarılmış, bu yol haritası planlama, veri toplama, harita üretimi ve konumsal hizmet süreci olarak dört ana başlıkta incelenmiştir. Bu yol haritasında bir bina için navigasyon hizmeti sürecindeki tüm adımlar madde madde sıralanmış, işin başlangıçtan hizmet sürecine kadar olan tüm kısımlar detaylandırılmıştır.

Konum belirleme ile birlikte kapalı mekan harita üretimi de önem kazanmaktadır. Bu konuda OGC'nin de standart oluşturma çalışmaları bulunmaktadır. Hatta yakın zamanda OpenStreetMap (OSM) uygulamasının harita çizim uygulaması olan OSM for Java (JOSM) için farklı indoor araçları geliştirilmiştir. Bu araçlar ile IndoorGML standartlarına uygun kapalı mekan harita üretiminde kolaylık sağlamaktadır.



A PROCESS MODEL APPROACH FOR EFFICIENT USE IN DIFFERENT APPLICATIONS OF CLOSED AREA POSITIONING AND NAVIGATION TECHNIQUES

SUMMARY

In this thesis, indoor location techniques, differences between these techniques and performance criteria are examined. Map production techniques used in indoor location data and solutions used in the sector are examined.

The search algorithms of triangulation, trilateration and fingerprint methods and shortest path algorithms such as Bellman Ford, Dijkstra, Floyd-Warshall Ford and A* and their advantages and disadvantages have been determined according to different building types. The most common indoor location algorithms used in practice are triangulation and fingerprinting methods.

In addition, indoor location with bluetooth devices is preferred more widely than WiFi technology in practice. It appears because of the low cost and lack of compatibility issues in mobile devices. Since there is no established standard for indoor positioning systems, many companies are developing their own software solutions. A similar problem is that companies that develop operating systems have developed software solutions to communicate between their devices, and these devices need to communicate with different devices with the progress of technology has brought with it many problems. In the indoor navigation solutions, a standard proposal consisting of six layers was made taking OSI Layers as reference. These layers are called Physical Layer, Network Layer, Signal Layer, Algorithm, Positional Layer and LBS Layer and it is explained that the data communication sequence must be processed through these layers in turn. Also detailed analysis on the performance criteria in the Indoor positioning systems techniques is given. These performance criteria, which are determined as Accuracy, Sensitivity, Coverage, Compatibility and Scalability, have been examined.

A road map has been prepared for indoor location determination work, and this road map has been examined in four main topics as planning, data collection, map production and location service process. In this roadmap, all the steps in the navigation service for a building are itemized, detailing everything from the start to the service period.

Indoor location map production is also important with location determination. In this regard, OGC also has standardization studies. In addition, recently, different indoor tools have been developed for OSM for Java (JOSM), the map drawing application of OpenStreetMap (OSM) application. With these tools, it provides convenience in the indoor map production according to the IndoorGML standards.

In this thesis study, fingerprinting, triangulation and calculation methods based on RSSI have been investigated from indoor positioning methods. As a result of the analysis, requirements analysis should be done firstly for Indoor positioning systems studies. How much energy is consumed by the devices to be installed, what accuracy the system should aim for, and so on. The technologies, hardware and algorithms that can be used according to the infrastructure information may differ. The accuracy and visualization of the map used in the user interface is as important as the least method. The maps in the user interface may be 2D or 3D, but more importantly, the mentioned maps must be built on the basis of a spatial data standard such as OGC. In practice many companies develop their system based on the local coordinate system. Although this is not a problem for small areas, it creates problems in large and complex areas. In addition, outdoor and indoor locations relationships can not be established directly with this type of approach, and this compromises the integrity of the navigation. Furthermore, the use of city and building standards such as CityGML, BIM, and IndoorGML will become more prominent for global coordinate systems, and interoperability problems will arise with systems developed based on the local coordinate system.

Wireless radio technology is most commonly used in indoor environments and the easiest accessible WiFi technology to achieve indoor positioning accuracy of about 5-15 meters can be achieved. Although WiFi technology can be used directly in some cases without the need for infrastructure, higher accuracy is not sufficient for applications that require it. Considering the wireless technologies covered in the thesis study, it was determined that Bluetooth technology is a suitable solution for Indoor positioning systems due to its superiority to other technologies and the properties explained in the thesis. Indoor positioning applications where Bluetooth technology is used can achieve accuracy of 1-5 meters. The fact that Bluetooth technology consumes a small amount of energy since version 4 has led BLE 4.x and 5.0 technologies to be preferred in closed areas.

Although Bluetooth technology consists of 79 frequency bands, only 40 can be used by BLE. On the other hand, it is observed that a large number of signal transmitters are used in practice in order not to have areas outside the scope of signal transmission in wide areas. In this case, the number of signals per unit area from different signal transmitters increases and temporal differences occur in instantaneous data transmission as it fills the range of 40 frequencies. The mentioned temporal differences also cause the algorithm to account for the wrong position.

The best example of this and similar situations is that indoor navigation solutions in fairgrounds do not work efficiently. In addition to signal transmitters in the exhibition area, the BLE signals in the personal devices of the visitors also increase the number of signals per unit area. For this reason, the use of the triangulation method is recommended because the application of the fingerprint method in such application areas will not produce accurate results. The triangulation method can not be developed with fewer signal transmitters than the fingerprint method. Especially with Bluetooth v5 technology, the distance between the signal data and the receiver is 4 times higher than the v4 technology, which will reduce the number of transmitters in wide area.

Indoor positioning systems are not only used for positioning and navigation purposes. Especially when integrated with location-based services, many applications can be developed that create added value. Examples of these are process improvement in the retail sector, customer satisfaction, and the fact that people in the banking sector are able to get a queue number without physical action when they arrive in the bank.



1. GİRİŞ

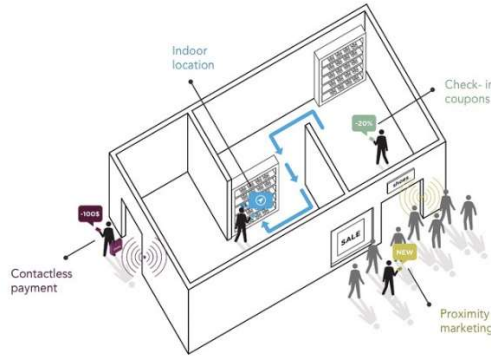
Teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanların teknolojik ürün ve elektronik cihazlara olan bağımlılıkları da artmaktadır. Artık Global Konum Belirleme Sistemleri (Global Navigation Satetllite System (GNSS) / Global Positioning System (GPS)) toplumun farklı düzeylerinde gerek konum belirleme gerekse navigasyon amaçlı olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Açık alanda bu gelişmeler yaşanırken kapalı alanlarda binaların boyutlarının genişlediği ve geometrilerinin karmaşık bir yapıya dönüştüğü gözlenmektedir. Bu durum açık alanda yaygın olarak kullanılan GNSS alıcılarının kapalı alanlarda kullanılma gereksinimini ortaya çıkarmaya başlamıştır. Bu nedenle bina içlerinin haritasının üretilmesi ve bina içerisinde bir noktadan bir noktaya ulaşılabilmesi için rota belirlenmesi önemli bir konu olmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında kapalı alanlardaki navigasyonun gerçekleştirilebilmesi için kablosuz radyo temelli yöntem ve teknolojilerinin nasıl kullanılabileceği konusu incelenmiş ve bu incelemeye dayalı olarak kapalı alan konum belirleme işine ilişkin uygulama çatkıları tasarlanmıştır. Son zamanlarda havalimanları, alışveriş merkezleri, iş merkezleri, hastaneler, adliyeler gibi kapalı alanlarda bu tür sistemlere duyulan gereksinim sonucunda yurt içinde ve yurt dışında farklı nitelikte kapalı alan konum belirleme ve navigasyon uygulamaları geliştirilmeye başlanmıştır. Tez kapsamında kapalı alan konum belirlemede sıklıkla tercih edilen kablosuz radyo temelli yaklaşımda kullanılan teknikler ve yöntemler arasındaki farklar detaylı olarak incelenmiş ve mevcut çalışmalarda kullanılan yöntemler ve tercih sebepleri irdelenmiştir. Böylece bu tür uygulamaların geliştirilmesinde kullanılacak metodolojik bir yaklaşım tasarlanmaya çalışılmıştır.

1.1 Kapalı Alan Konum Belirleme

Navigasyon teknolojileri ve uygulamaları insan hayatını kolaylaştıran en büyük yeniliklerdendir. Akıllı telefonlarda bulunan GNSS alıcılarından gelen konum bilgilerini kullanarak çalışan harita ve navigasyon amaçlı uygulamaların kullanım sayısı üstel olarak artmaktadır. Dış mekanlarda GNSS yardımı ile aradığımız konuma ulaşmak veya en kısa yolları bulmak artık yaşamın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Fakat havalimanları, hastaneler, alışveriş merkezleri gibi karmaşık binalarda konum belirleme ve navigasyon işini gerçekleştirme açık alandaki kadar önemli bir konuma gelmektedir. Kapalı alanlarda akıllı telefonların neredeyse tamamı GNSS sinyalinin ya çok zayıf olarak almakta veya hiç almamaktadırlar. Bazı firmalar bu konuda kablosuz internet ağı (Wireless-Fidelity, WiFi) ile iyileştirme çalışmaları yaparak çözüm geliştirmeye çalışsalar da geliştirilen çözümlerin yeterli olmadığı durumlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle kapalı alanlarda konum belirleme ve navigasyon için kablosuz radyo temelli iletişim teknolojileri ile çözüm geliştirilmektedir. Şekil 1.1’de kapalı alan konum örneği gösterilmiştir.

Kapalı alan navigasyon sistemi geliştiren pek çok girişim firması bulunmaktadır. Örneğin uluslararası yatırımcı desteğine başvuran bu firmaların yer aldığı web sitesindeki veriler incelendiğinde Mayıs 2011 tarihinden itibaren toplam 105 projeye 546 yatırımcının destek verdiği görülmektedir[1]. Bu şirketleri incelendiğinde en fazla 12 adet firmanın aktif olduğu ve diğer projelerin ise almış olduğu yatırımların devam etmediği görülmüştür. Sözü edilen bu ürünlerin geliştirilmesi sırasında mekansal bilgi standartlarının kullanılmaması, projelerin hayata geçirilmesi ve üçüncü parti yazılımlara entegrasyonu aşamalarında karşılaşılan sorunlar nedeniyle uygulama alanları kısıtlı olmuş ve sektörde geniş kullanım alanı bulamamısına neden olmuştur.



Şekil 1.1 : Kapalı alan konum örneği[2]

2. KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME

“Kapalı Alan Konum Belirleme Sistemi - *Indoor Positioning System (IPS)*” GNSS sinyali akıllı telefonlar tarafından alınmadığı için alternatif sinyal vericiler tasarlanmış ve konuda alternatifler oluşturulmuştur. WiFi, Bluetooth (ibeacon veya eddystone), RFID ve NFC gibi sinyal verici cihazlar ile çalışmalar yapılmıştır[3]. Bu teknolojinin kullanımı ve yayılmasında konum belirlemek için sinyal vericiler ne kadar önemli ise alıcılar da o kadar önemlidir. Dolayısıyla alıcı olarak kullanılan akıllı telefonların da bu teknolojileri destekliyor olmaları beklenmektedir. RFID ve NFC gibi çözümler endüstriyel olarak geliştirilmiş olsa da çalışma mesafelerinin çok kısa olmasından dolayı daha çok stok yönetimi alanında ürünlerde tercih edilmektedir [4]. Burada WiFi ve Bluetooth Low Energy (BLE) kullanımı öne çıkmaktadır. Kapalı alan konum belirlemede hedeflenen konum doğruluğuna bağlı olarak farklı yöntemler ve çözümler kullanılabilir.

WiFi teknolojisi ile konum belirleme doğruluğu yaklaşık 5-10 metre arasında değişmektedir. WiFi teknolojisi ile konum belirleme yakın zamana kadar yaygınlık kazanmış olmasına rağmen işletim sistemleri üreticilerinden Apple firması IOS işletim sistemlerinde WiFi tarama özelliğini kapattığı için bu konuda sadece android işletim sistemi kullanan cihazlar üzerinde çalışmalar yapılabilir. Daha önce IOS üzerinde WiFi ile konum belirleme çalışmaları yapan WifiSLAM firmasının Apple tarafından satın alınmasından sonra IOS üzerinde WiFi tarama özelliğinin kapatılması, kullanıcılara yakın zamanda Iphone telefonların WiFi teknolojisi kullanarak bu hizmetin üretici firma olan Apple tarafından verilebileceğini göstermektedir.

IBeacon ile konum belirleme WiFi teknolojilerine göre çok daha hassas olmaktadır. Apple tarafında geliştirilen ibeacon cihazlar basit olarak 10 metre aralıklar ile kapalı alanlara yerleştirilmekte ve farklı konum belirleme yöntemleri kullanılarak çözümler geliştirilmektedir. Bluetooth teknolojileri WiFi teknolojisiyle kıyaslandığında yalnız yeni akıllı telefonların destekleniyor olması bir dezavantaj olarak gösterilebilmektedir.





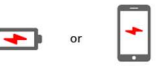

















Apple firması IBeacon teknolojisini ilk olarak 2013 yılındaki Dünya Geliştiriciler Konferansında (World Developer Conference, WDC) duyurmuştur. IBeacon cihazları Bluetooth teknolojisini kullanarak belirli bir mesafede bulunan Apple telefonlarına küçük kimlik numarasını bildiren kısa bir mesajı iletmektedir. Buna karşılık Google firması da Temmuz 2015’de Eddystone protokolünü duyurmuştur. Bu protokoller [5] web sitesinden ücretsiz olarak geliştirici ve üreticilere sunulmuştur. İlerleyen zamanda Google tarafından desteklenen Eddystone protokolü daha da geliştirilerek cihaz kimlik bilgisinden daha fazlasını sunar hale gelmiş ve URL desteği eklenmiştir[6].

2.1 Kapalı Alan Konum Belirleme Teknolojileri

2.1.1 RFID ve NFC

Aktif Rayo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency IDentification, RFID) ve Yakın Alan İletişimi (Near Field Communication, NFC) teknolojilerinin WiFi ve BLE 4.0 teknolojilerine göre kurulum ve donanım maliyetleri daha yüksek olması, bu gününün akıllı telefonlarında RFID/NFC sensörlerinin bulunmaması ve diğer nedenlerden dolayı RFID ve NFC teknolojilerine dayalı kapalı alan konum belirleme çözümleri yaygınlık kazanamamıştır. Ancak RFID ve NFC teknolojileri otomasyon veya endüstriyel çalışmalarında kullanım alanı bulmuştur. Şekil 2.1 farklı teknolojilerin karşılaştırma tablosunu göstermektedir.

comparison of different technologies for server-based indoor positioning

Technology	Accuracy	Range	Suitable for	Tracking	Transmitter power supply	Battery lifetime
Wi-Fi	 < 15 m	 < 150 m	 area detection		 or	 medium
BLE	 < 8 m	 < 75 m	 area detection			 high
UWB	 < 30 cm	 < 150 m	 area detection		 or	 low to medium
RFID	 < 10 cm	 < 1 m	 spot detection		— (passive RFID tag)	— (passive RFID tag)

Şekil 2.1 : Farklı kapalı alan konum belirleme teknolojilerinin karşılaştırması.[7]

RFID sistemi aktif alıcıları veya pasif etiketleri (tag) dinleyen okuyucu sistemlerden oluşmaktadır. Pasif ve aktif RFID sistemler olmak üzere iki farklı RFID yöntemi bulunmaktadır. Aktif RFID sistemler etiketlerin yerlerini tespit etmek için kullanılırken pasif RFID sistemler ise okuyucuların konumlarını belirlemede kullanılmaktadır. Genel olarak pasif etiketler, okuyucu veya sinyal vericiler tarafından gönderilen manyetik alandan oluşan enerji ile çalışmaktadır. Okuyucu etikete radyo sinyali gönderdiğinde veya etiket okuyucunun sinyal alanına girdiği zaman, etiket aktifleşir ve kimlik bilgisini sinyal vericiye gönderir. Pasif RFID sistemlerin daha çok kısa mesafelerde kullanılması tercih edilmektedir. Pasif RFID pek çok mağazada ürünlerin izinsiz dışarı çıkışını engellemek için kullanılmaktadır. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de gösterildiği gibi pasif RFID köprü ve otoyol girişlerinde de kullanılmaktadır.



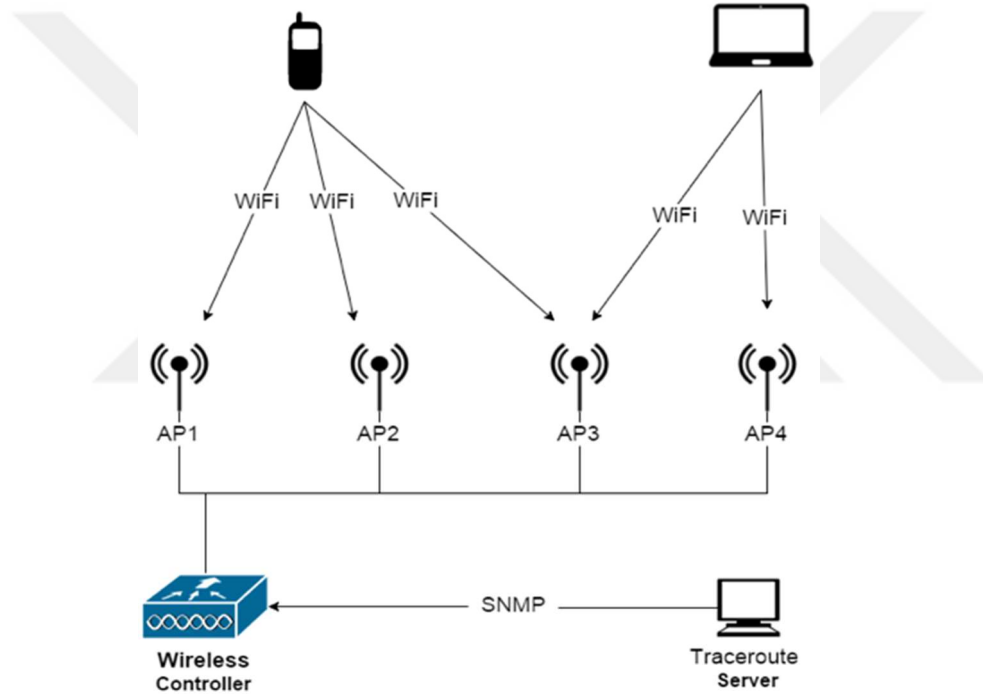
Şekil 2.2 : Aktif RFID ile taşıt tanıma [8]



Şekil 2.3 : Türkiye’de köprü ve otoyol geçişlerinde kullanılan HGS uygulaması [9]

2.1.2 WiFi ile Konum Belirleme

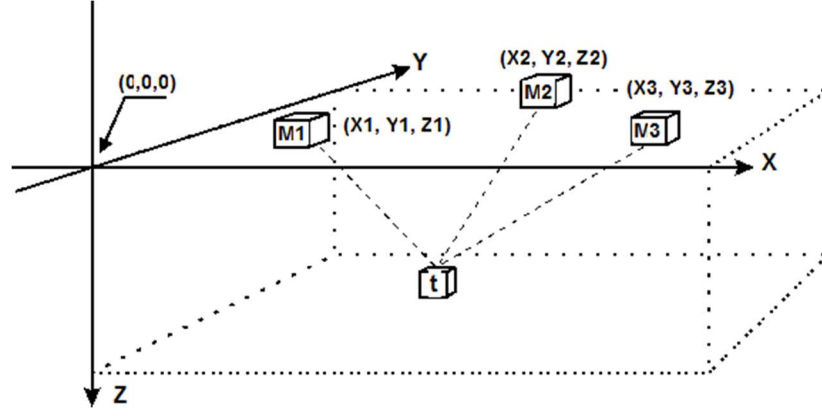
WiFi ile konum belirleme kablosuz sinyal vericiler (Access Points, APs) ile kablosuz sinyali alan cihaz arasında gerçekleşen iletişim üzerinden hesaplanmaktadır. Burada temel mantık sinyal alan cihazın bulunduğu noktadan erişim noktalarına geri dönen sinyallerin güç kaybı üzerinden sinyal vericiler ile sinyal alıcı arasındaki uzaklıkların hesaplanmasıdır [10]. Google map uygulaması WiFi erişim cihazları , en yakın GSM istasyonları ve mobil cihazların almış olduğu IP adreslerini birlikte kullanarak bir konum hesaplaması yapmaktadır.Şekil 2.4’de Google’ın kullandığı konum belirleme yöntemi gösterilmektedir. Bu yöntem Google tarafından patent ile koruma altına alınmıştır [11].



Şekil 2.4 : WiFi ile konum belirleme yöntemi [12]

2.1.3 Ultrasonik Teknik İle Konum Belirleme

Ultrasonik sensörler aracılığı ile konum belirleme daha çok robotik teknolojilerde kullanılmaktadır. Belirli alanlara yerleştirilen sensörlerden gelen ses dalgalarının süreleri üzerinden hesaplama yapılarak konum belirlenmektedir. Şekil 2.5’de M1, M2 ve M3 kaynaklarının t objesinin ultrasonic sensör aracılığı ile konum belirlenmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Ultrasonik konum belirleme[13]

2.1.4 UWB ile konum belirleme

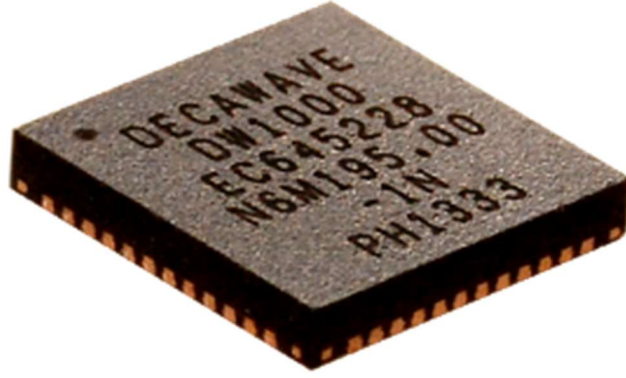
Geniş bant ve yüksek çözünürlük özellikleri ile geniş bant (Ultra-Wide Band, UWB) teknolojisi birçok kapalı alan konum belirleme teknolojisinden daha yüksek doğruluklu sonuçlar vermektedir. UWB daha çok gerçek zamanlı konum belirlemede kullanılmakta, navigasyon uygulamalarında pek kullanılmamaktadır. Decawave firması tarafından geliştirilen DW1000 yongası(Şekil 2.6) ile UWB teknolojisi ile konum doğruluğu yaklaşık 5 cm civarındadır [14].

Localino isimli açık kaynak projede örnek olarak bir futbol oyunu gerçek zamanlı olarak tüm oyuncuların konumları anlık tespit edildiği uygulama geliştirilmiştir. Şekil 2.7'de bu uygulamaya ait çalışma örneği gösterilmiştir.

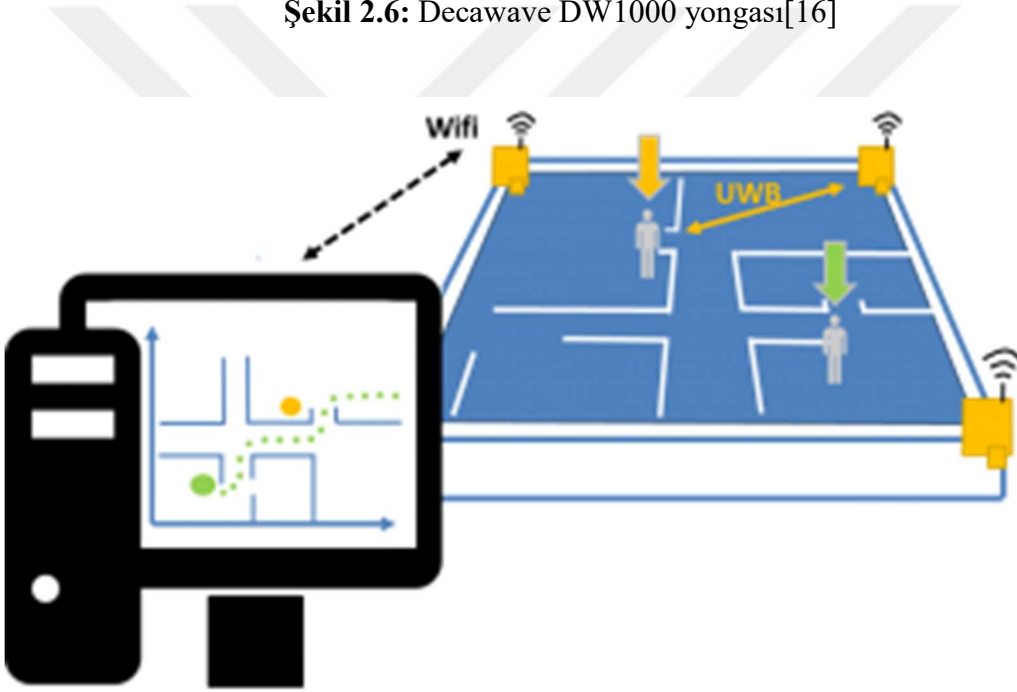
UWB teknolojisi ile konum belirlemek için referans düğümlerin konum bilgilerine ek olarak referans düğümleri ile hedef düğüm arasında dolaşan radyo sinyallerinden konum bilgisinin kesitildiği farklı algoritmalar bulunmakta olup bu algoritmalar aşağıda 5 grup olarak verilmiştir:

- varış zamanı (TOA);
- varış açısı (AOA);
- alınan sinyal gücü (RSS);
- varış zaman farkı (TDOA);
- hibrid algoritma.

Yukarıdaki algoritmaların doğruluk, ortam, kestirim tekniği, aralık, kullanım amacı gibi çeşitli ölçütlere göre karşılaştırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir. [15]



Şekil 2.6: Decawave DW1000 yongası[16]



Şekil 2.7: Localino UWB çalışma örneği [17]

Çizelge 2.1 : Yöntemlerin Avantaj-Desavantaj tablosu [18]

Teknoloji	Avantajları	Dezavantajları	Performans
- Ultrasonik	<ul style="list-style-type: none">- Basit ve ucuz ekipman- Hassas ölçüm imkanı	<ul style="list-style-type: none">- Her odaya ayrı ayrı alıcı gerekli- Yüksek sesli ortamlarda ölçüm hataları- Alıcı ve vericiler birbirini görmeli	<ul style="list-style-type: none">- Çok sık alıcı ve verici kullanılması durumunda cm olarak ölçüm yapılabilir
- RFID	<ul style="list-style-type: none">- Alıcı ve Vericiler birbirini görmesine gerek yok- Her türlü ortamda çalışma avantajı- Hızlı etkileşim- Pasif alıcıların çok ucuz olması	<ul style="list-style-type: none">- Pasif taşıyıcılar düşük duyarlılığa sahip- RFID okuyucular pahalı piyasadaki ürünler 3000 dolar ile 10000 dolar arasında değişiklik göstermektedir.	<ul style="list-style-type: none">- RFID okuyucu ve antenlerin dağılımına bağlı olarak 1 cm den 2 metreye kadar değişiklik göstermektedir.
- Bluetooth	<ul style="list-style-type: none">- Tüm bluetooth cihazları takip edilebilir- Değişken okuma mesafesi- Küçük işletmelere göre ekonomik	<ul style="list-style-type: none">- Büyük ölçekli alanlarda maliyetli- Limitli bant genişliği- Veri aktarımı geç	<ul style="list-style-type: none">- 2- 15 metre arası
- WLAN	<ul style="list-style-type: none">- IEEE 802.11 altyapısını kullanabilme imkanı- Düşük maliyet	<ul style="list-style-type: none">- Çok katlı ve yoğun alanlarda düşük performans- Ağ yapısının değişiklik göstermesi durumunda sürekli kalibrasyon ihtiyacı- Sinyal yansıması ile yanlış ölçüm- IOS cihazlarda çalışmamakta	<ul style="list-style-type: none">- 3-5 metre

2.2. Kapalı Alan Konum Belirleme Yöntemleri

2.2.1 Alınan sinyal güç göstergesi

Alınan Sinyal Güç Göstergesi (Received Signal Strength Indicator, RSSI) ile konum belirleme yöntemi en kolay gerçekleştirilen uzaklık ölçme türüdür. Bu yöntemde alınan sinyal gücü ile verici arasında mekansal ilişki kurulur. Teorik olarak sinyalin yayımlandığı kaynağa yaklaştıkça RSSI değerinde artma, uzaklaştıkça azalma olmaktadır. Hareketli cihazlar ile farklı eşirim noktalarından alınan sinyallerin erişim noktalarına olan uzaklıkları daireler oluşturularak hesaplamalar yapılmaktadır. [19]

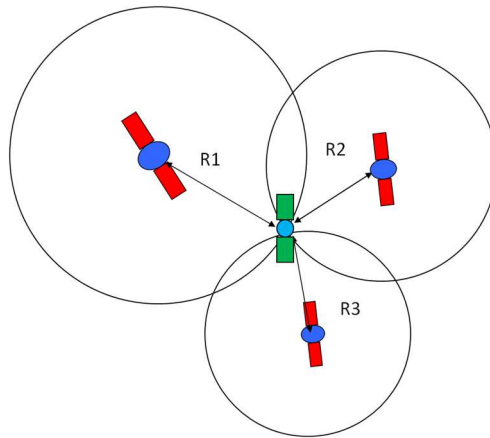
RSSI, alıcıdan geri dönen sinyalin güç değeri olarak ölçülmekte ve genellikle “-dBm” cinsinden ifade edilmektedir. dBm değeri büyüdükçe sinyal gücünün arttığını göstermektedir.

2.2.2 Triangülasyon (Üçgenleme)

Bu yöntemde etrafta bulunan birçok WiFi noktasından gelen sinyalin şiddeti ölçülerek konum hesaplaması yapılmaktadır. Android üzerinde tüm WiFi sinyallerine ve şiddetlerine erişim sunan API varken, iOS üzerinde henüz geliştiricilerin kullanımına açık böyle bir API bulunmamaktadır (Şekil 2.8). [20]

2.2.3 GPS/Cellular/WiFi triangülasyon

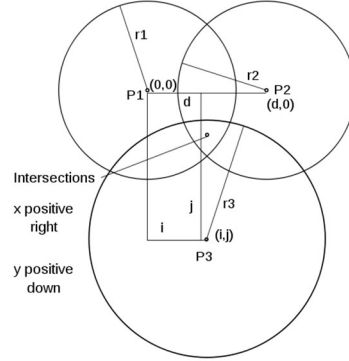
Bu yaklaşımda açık bir alandan kapalı bir alana geçerken GPS, baz istasyonu ve WiFi üzerinden alınan sinyaller birleştirilerek bir konum belirleme yapılmaktadır.



Şekil 2.8: Triangulation [21]

2.2.4 Trilaterasyon

Basit olarak 3 tane sinyal vericinin kapsama alanının oluşturduğu dairenin kesiştiği noktaların hesaplanması yöntemi ile noktanın belirlenmesidir. Burada X,Y,Z gibi 3 bilinmeyen olduğu için 3 denklem ve eşitlik kurularak formülize edilmektedir (Şekil 2.9). Hesaplamaların pratik olması için her bir dairenin koordinat düzlemine göre 0,0 yani orjin de bulunduğu varsayılmıştır.



Şekil 2.9: Trilateration [22]

Eşitlik basit olarak aşağıdaki gibidir.

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

$$r_2^2 = (x-d)^2 + y^2 + z^2$$

$$r_3^2 = (x-i)^2 + (y-j)^2 + z^2$$

Burada d değeri x düzleminde P2 nin değeridir. r_2 değeri ise P2 noktasının yarıçapıdır. Aşağıdaki hesaplamalar ile XYZ koordinat düzleminde kesişim noktasını hesaplamamız gerekmektedir. r_1 ve r_2 yi kullanarak x bilinmeyen değerini hesaplanmaktadır.

$$r_1^2 - r_2^2 = x^2 - (x-d)^2$$

$$r_1^2 - r_2^2 = x^2 - (x^2 - 2xd + d^2)$$

$$r_1^2 - r_2^2 = 2xd - d^2$$

$$r_1^2 - r_2^2 + d^2 = 2xd$$

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \text{ aynı şekilde y ve z değerlerini de hesapladığında}$$

$$y^2 + z^2 = \frac{r_1^2 - (r_1^2 - r_2^2 + d^2)^2}{4d^2}$$

$$y = \frac{(r_1^2 - r_3^2 - x^2 + (x-i)^2 + j^2)}{2j}$$

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2} \text{ formül ile uzaklık hesaplanmaktadır. [23]}$$

2.2.5 WiFi ile parmak izi

Bu sistemin kullanımı iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada ortamda varolan sinyallerin veri setlerinin oluşturulduğu aşama, ikinci aşama ise bu veri setlerinin eşleştirme aşamasından oluşmaktadır. Yani kullanıcının hareketi esnasında toplanan sinyallerin RSSI değeri daha önceden oluşturulmuş veri setleri ile karşılaştırılarak eşleşme yöntemi ile konum belirlenmiş olur [24].

2.2.6 BLE sinyaller

Binaların belirli noktalarına ve oda girişlerine yerleştirilen BLE cihazlar aracılığı ile hesaplamalar yapılarak kişinin konumu hesaplanmaktadır. Bu yöntem yukarıda bahsedilen diğer yöntemlere göre daha pratik ve ekonomik olduğu için tercih edilmektedir. Bluetooth teknolojilerinde enerji tüketimi daha önceki 4.0 ve eski sürümlerinde çok fazla olduğu için yaygınlaşamamıştır. Fakat BLE 4.0 ile cihazlarda ve sensörlerde pil tüketimi azaldığı için çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca Bluetooth 5.0 ile örgü ağı (mesh network) desteği ve daha uzun mesafelerde uzaklık belirlenebilmektedir. Örgü ağı kapsama alanı içindeki bütün sinyal vericilerinin birbirlerine bağlanmış olduğu bir topoloji türüdür. Örgü ağı topolojisinde herhangi bir ana sinyal dağıtıcıya gereksinim bulunmamaktadır. Diğer bağlantı türlerine göre de daha güvenlidir. Örneğin 2 bilgisayar arasında olan veri paylaşımı diğer bir bilgisayar tarafından görülemeyeceği için bluetooth cihazları arasında olan veri paylaşımında sadece 2 cihaz arasında gerçekleştiği için güvenlidir.

BLE klasik bluetooth gibi 2.400-2.4835 GHz ISM bandını kullanmaktadır. Klasik Bluetooth 1-Mhz 79 kanal kullanmakta, Bluetooth Low Energy 2-Mhz 40 kanal kullanmaktadır. Bluetooth teknolojisi bu dar bant genişliği sorunu için frekans atlama tekniğini kullanmaktadır. [25]

2.2.7 LED ışıkları

Tavana yerleştirilen bu özel üretilen ışıkların insan gözü ile algılanamayan fakat cihazlar aracılığı ile ölçülebilen titreşimleri bulunmaktadır. Bu ışıkların yanıp sönme hızlarının algılanması ile konum belirlemesi yapılabilmekte ancak maliyetleri yüksek olduğu için yaygınlaşamamıştır.

2.2.8 Diğer sensörler

Akıllı telefonlar üzerinde bulunan pusula, jiroskop, ivmeölçer, yükseklikölçer ve barometre gibi sensörler aracılığıyla bir konumdan başlayarak ve kullanıcının hareketi algılanarak kullanıcının konumu kestirilmekte ve harita üzerinde gösterilebilmektedir. Bu uygulamalarda genellikle adım sayar kullanılmaktadır. Pusula aracılığı ile de kişinin dönme hareketleri saptanabilmektedir. Fakat pusulanın her türlü kapalı mekanda manyetik alanın yoğunluğuna göre doğruluğu değiştiği için hatalı sonuçlar da üretilebilmektedir.

2.3 Başarım Ölçütleri

Kapalı alan konum belirleme sistemlerinde başarım kullanılan sensörlere, donanımlara ve bina yapısına bağlıdır. Yapılan uygulamada ne kadar doğruluk hedeflendiği ve bunun sağlanıp sağlanamadığı diğer bir başarım ölçütüdür. Örneğin desimetre düzeyinde bir konum doğruluğuna gereksinim varsa UWB iyi bir çözüm oluştururken, pazarlama veya adres belirleme gibi uygulamalarda kullanılacak ise BLE 4.0, 5.0 gibi teknolojiler ile daha hızlı ve ekonomik çözüm geliştirilebilmektedir. Çizelge 2.2’de farklı teknolojilerin performans kriterleri gösterimi yapılmıştır.

Kapalı alanlarda başarım ölçütleri genel olarak doğruluk, presizyon, kapsama alanı, uyumluluk, ölçeklenebilirlik ve maliyet olarak sıralanabilir [x16].

2.3.1 Doğruluk

Bir sistemin doğruluğu veya konum belirleme hatası en önemli ölçütlerden biridir. Doğruluk gerçek konum ile ölçülebilen konum arasındaki hata olarak da adlandırılabilir. Doğruluk ne kadar yüksek ise sistemin kalitesi de o kadar yüksektir.

2.3.2 Presizyon

Hareket halindeki bir nesnenin konumu ne kadar kısa sürede güncellenebildiği biçimde ifade edilebilir.

2.3.3 Kapsama alanı

Kapsama alanının ölçeklenebilir olması çok önemlidir. Örneğin kapalı alanlarda ne kadar bir alanın kapsandığı önemlidir. Ek donanım eklenerek toplam erişilebilir alan arttırılabilir.

2.3.4 Uyumluluk

Çevresel etmenler verimliliği arttıran veya azaltan değerlerdir. Çevresel etmenlere uyum sağlayabilmesi bir kapalı alan konum belirleme sistemi için çok önemlidir. Çevresel etmenlere uyumlu bir sistem daha verimli bir sistem olarak adlandırılabilir. Kaliteli bir sistem sürekli kalibrasyon gereksinimini de ortadan kaldırabilir.

2.3.5 Ölçeklenebilirlik

Ölçeklenebilirlik hemen hemen tüm sistemlerde önemlidir. Daha fazla sayıda ilgi noktası (Point of Interest, POI) talebi, daha geniş kapsama alanı gereksinimini ortaya çıkarır. Ölçeklenemeyen bir sistem performans kaybına neden olabileceği gibi her farklı çalışmada sistemin yeniden tasarlanmasını gerektirebilir.

2.3.6 Maliyet

Konum belirlemede doğruluk ile maliyet doğrudan orantılıdır. Ne kadar hassas honum verisi elde edilmek isteniyorsa maliyet de aynı oranda artacaktır.

Çizelge 2.2 :Başarım ölçütleri

	WiFi	BLE	UWB
Hesaplama teknolojisi	RSSI ve fingerprint	Yakınlık,RSSI	Multilateration
Hata oranı	3-15 metre	2-3 metre	0.1-0.3 metre
Konum güncelleme oranı	1 Hz	1Hz	4-10Hz
Hesaplama alanı	50 metre	10m	40 m
Frekans	2.4 Ghz	2.4 Ghz	3.1 -10 Ghz
Güç Tüketimi	Yüksek	Düşük	Orta



3. KAPALI ALAN HARİTA ÜRETİMİ

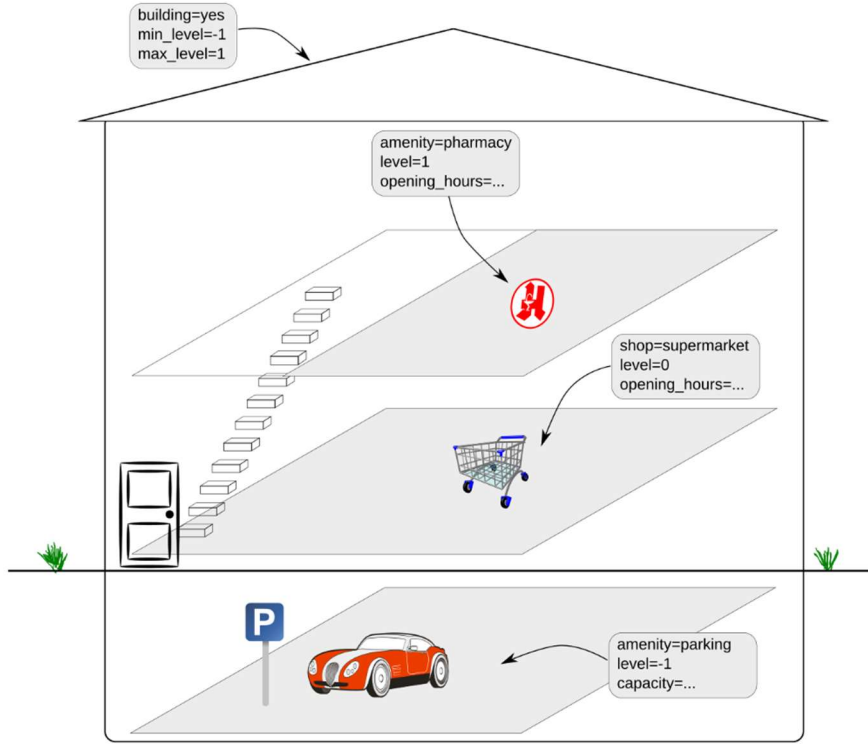
Alışveriş merkezleri, hastaneler gibi karmaşık yapıdaki kapalı alanlar için en önemli gereksinimlerden biri de harita üretimidir. Sinyal verilerinden konum kestirimi yapılmasına ek olarak çalışma ortamına ilişkin bir içerik sağlanması gerekiyorsa haritaları kapalı alan konum belirme ve navigasyon çalışmasına bütünleştirmek gerekmektedir.

Uygulamada harita kullanımı genel olarak vektörel olarak çizilmiş 2 boyutlu kat planlarının raster formata dönüştüğü görüntü dosyaları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ancak gerçek anlamda mekansal tabanlı çalışmalar gerçekleştirilecekse mekansal standartlara dayalı harita üretiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında açık kaynaklı çözümlerin kullanılması üzerinde durulmuş ve OpenStreetMap tabanlı kapalı alan harita üretimi tasarlanan katkıda önerilmiştir. Ayrıca tez çalışmasında OpenStreetMap tabanlı kapalı alan harita üretiminin üstünlüklerinden ve bu konuda yapılacak üretime ilişkin önerilerden bahsedilmiştir.

Radyo tabanlı konum belirlemenin çözüm olarak kullanıldığı karmaşık binalarda genel olarak her kat birbirinden bağımsız 2B bir düzlem olarak kabul edilmektedir. Bu sorunun çözümü için kat ayrımını da vurgulayacak nitelikte bir etiketleme sisteminin kullanılması gerekmektedir.

3.1 Haritalar ve İlgi Noktaları

İlgi Noktaları (Point Of Interests, PoI, Points of Area, PoA) GNSS tabanlı navigasyon uygulamalarında/yazılımlarında önceden tanımlı hastane, eczane, akaryakıt istasyonu gibi adreslerin bilgisini gösteren noktalar olup kullanıcının ilgili noktaya erişmesi için kullanılan haritalardır. Şekil 3.1’de OpenStreepMap tabanlı sistemler için önerilen ilgi noktalarının tanımı gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Harita üzerinden PoI işaretlerinin basit bir kullanımı[26]

Çizelge 3.1: PoI etiketleme[26]

Etiket	Açıklama	Örnek Değerler
Level=*	PoI nin bulunduğu kat	Level=3, level=-1 gibi

Çizelge 3.1 farklı katlardaki PoI'lerin nasıl etiketlenebileceğini gösteren bir yapıdır. Örnek vermek gerekirse ATM bodrum katta yer alıyor ise level=-1 , sinema 4.katta yer alıyor ise level=4 biçiminde önerilmektedir.

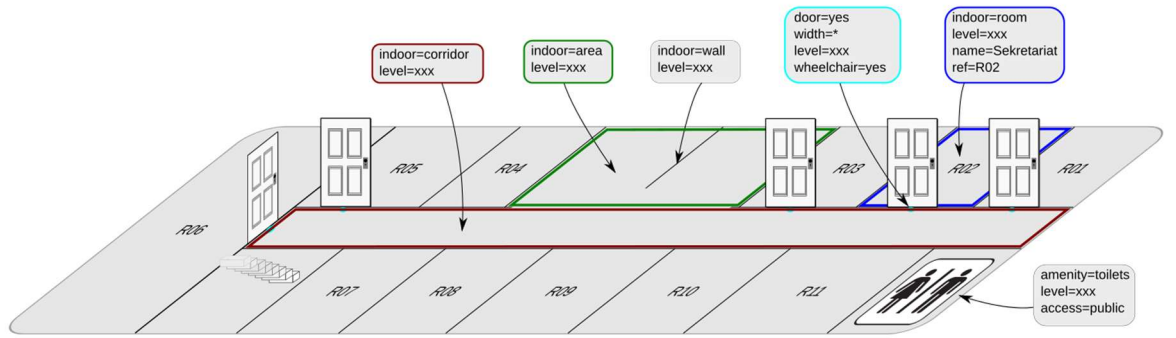
3.2 Binaların Etiketlenmesi

OpenStreetMap de binalar için aşağıdaki gibi etiketleme önerilmiştir. Ayrıca gösterilmesi istenmeyen veya gizlilik durumları için non_existent_levels=* etiketi kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2: Katlardaki farklı elementlerin modellenmesi[26]

Etiket	Açıklama	Örnek Değerler
min_level=*	Binanın en alt kat seviyesi	min_level=-1
max_level=*	Binanın maximum kat seviyesi	max_level=14
non_existent_levels=*	Opsiyonel olarak gösterilmesi istenmeyen katlar için kullanılabilir.	non_existent_levels=4;13






Odalar, koridor veya merdiven gibi bina içindeki farklı kısımların da modellenmesi gerekmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Temel katlardaki elementler[26]

Çizelge 3.3’de katlardaki temel elementlerin oda, alan, duvar gibi elementlerin önerilen etiket örneği verilmiştir.

Çizelge 3.3: Temel katlardaki elemenlerin detaylı gösterimi[26]

Etiket	Değer	Element	Açıklama
indoor=*	room		4 duvar ile çevrili oda
indoor=*	area		Duvarları olmayan alanlar (oyun alanları vb.)
indoor=*	wall		Oda niteliği olmayan fakat duvarlar için önerilmiştir.
indoor=*	corridor		Odalar arası bağlantı
indoor=*	level		Kat seviyesi için önerilmiştir.

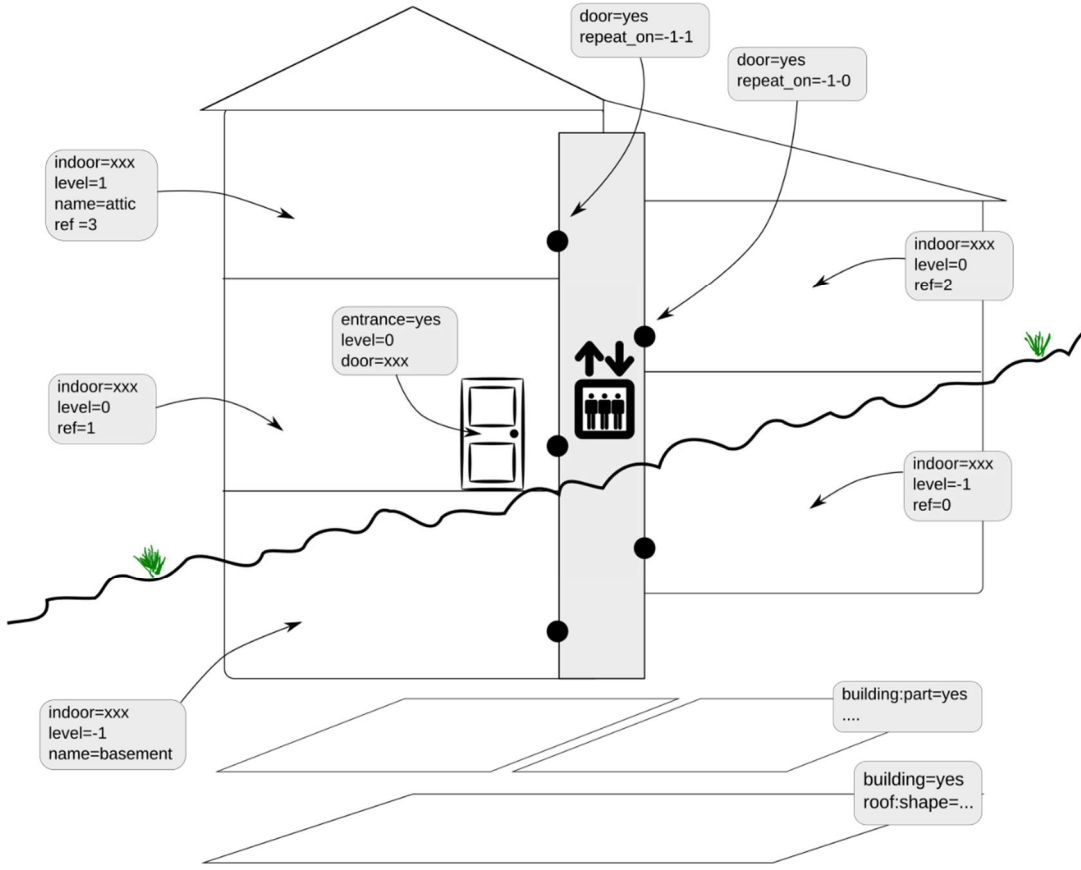
3.3 Farklı Katlar Arası Bağlantıların Modellenmesi

Burada merdiven, asansör, engelli asansörleri, yük asansörleri gibi amaca ve gereksinimlere bağlı geometrik modellemeler gösterilmiştir. Aynı kat seviyesinde bağlantı yolu olarak koridor kullanılmasına karşı koridorlar asansör veya merdivenlere bağlantı yapılması gerekmektedir (Çizelge 3.4).[28]

Örnek olarak Şekil 3.3’de farklı kat seviyesi ve kot farkı bulunan karmaşık bina örneği ve buna binalardaki bağlantı elemanları gösterilmiştir. Çizelge 3.5 te ise bu tür yapılarda kullanılan etiketleme önerisi verilmiştir.

Çizelge 3.4: Temel katlardaki bağlantı elemanların gösterimi[26]

Kullanım alanı	Önerilen Etiketleme
Stairs	stairs=yes indoor=room veya indoor=area etrafında duvar yok ise
Escalators	stairs=yes conveying=yes indoor=room veya indoor=area etrafında duvar yok ise
Elevators	highway=elevator



Şekil 3.3: Karmaşık bina örneği[26]

Çizelge 3.5: Katların gösterimi[26]

Etiket	Açıklama	Örnek Değerler
name=*	Kat için verilen isim.	name=Giriş Kat
level:ref=*	Alt harita olacak referans haritanın kodu	level:ref=K level:ref=E level:ref=3
height=*	Kat yüksekliği	height=4
level=*	Kat seviyesi	level=0, level=-2, level=3

3.4 Harita Üretim Arayüzü

Google firması kapalı alan harita desteği sunmaktadır. Şimdilik sınırlı olmak ile birlikte daha da yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Google bina içi haritalar için kullanıcıların sisteme girdiği kat planı görselleri üzerinden çalışmaktadır. Google Maps kullanıcıları veya kapalı alan haritasını Google Maps üzerinden kullanmak isteyen kullanıcılar ya da çözüm ortakları şekil 3.4'de gösterildiği gibi bir bina seçip bu binaya ait kat seviye bilgisi vb. bilgileri tedarik ederek ilgili binanın kapalı alanlarını Google Maps ortamına taşıyabilirler. Here firmasının Here360 Indoor Maps uygulaması da kapalı aılan harita üretimini desteklemektedir. OpenStreepMap ise yalnız harita güncellemelerine izin vermektedir.

Google kapalı alan haritaların kullanıma açık olduğu ülkeler Avustralya, Avusturya, Belçika, Brezilya, Kanada, Danimarka, Fransa, Almanya, Hong Kong, Hindistan, Endonezya, İtalya, İrlanda, Japonya, Meksika, Hollanda, Rusya, Singapur, Güney Afrika, İspanya, İsveç, İsviçre, Tayland, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri örnek olarak gösterirlebilir.

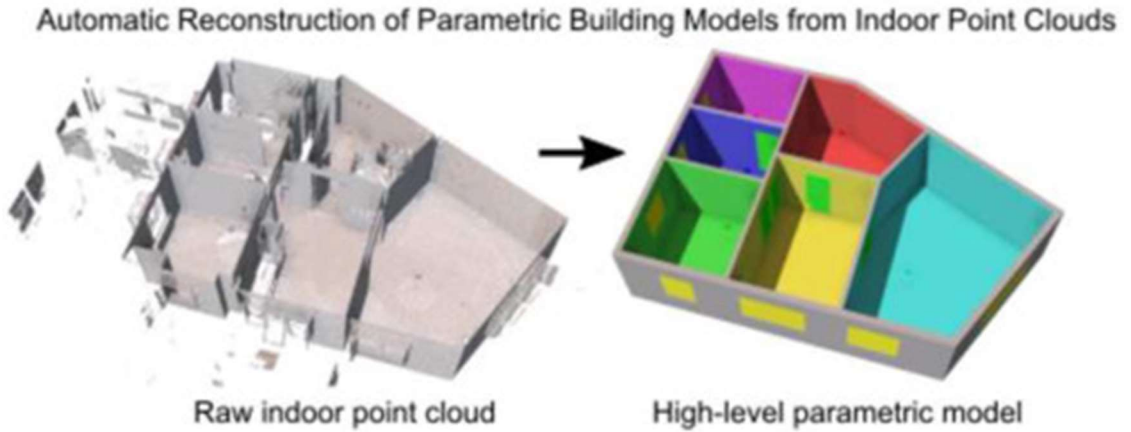
Şekil 3.4: Google Maps kapalı alan harita üretimi bilgi giriş ekranı

3.5 Harita Üretimi

Harita üretimi için literatürde ve uygulamada iki farklı model kullanılmaktadır:

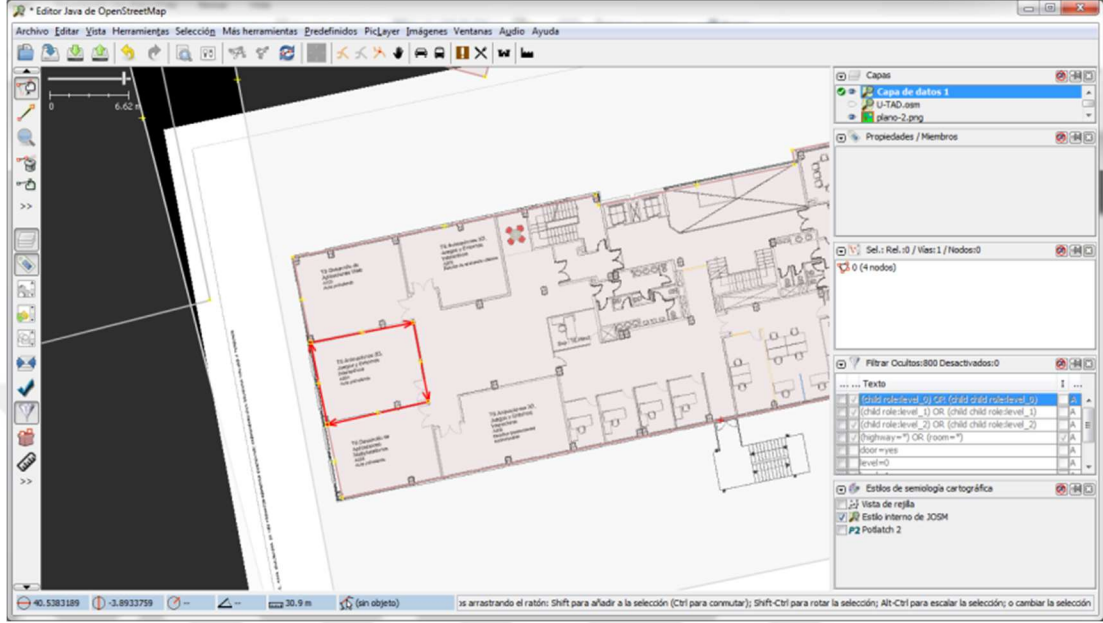
- Kat planlarının harita üzerine taşınması: Bina taban alanının bulunduğu bir harita üzerine kat planları getirilmekte, kat planları ile bina taban alanı uyumlu hale getirilmekte ve bu koşul yakalandıktan sonra kat planı görüntüsü üzerinden dijitalleştirme yapılmaktadır. Açık kaynak olan OpenStreetMap tarafında Java OpenStreetMap Editor (JOSM) kullanılarak doğrudan normal harita üzerine kapalı alan etiketleri ile yeniden çizim yapılabilmektedir.

-Nokta Bulutu (Point Cloud) ile harita üretimi: Nokta bulutu tabanlı harita üretimi için öncelikle ortamın 3B nokta bulutunun elde edilmesi gerekmektedir(Şekil 3.5). 3B nokta bulutu üretimi için 2 kameradan oluşan stereo-fotogrametri tekniği, 1 kameradan oluşan derinlik yaklaşımı veya lazer tarayıcının kullanılması ile doğrudan 3B nokta bulutunun elde edildiği teknik kullanılabilir. Uygulamada ifade edilen bu teknikleri doğrudan ya da birlikte kullanan çözümler bulunmaktadır. Microsoft firmasının ürettiği Kinect sensör, Streolab firmasının ürettiği Zed kamera ve Trimble firmasının ürettiği TIMMS bu çözümlere örnek olarak verilebilir. Kinect sensör ve Zed kamera vb. cihazların ürettiği verileri doğrudan harita verisi olarak kullanmak zor olacağı için nokta bulutları önce Bilgisayar Destekli Çizim (Computer Aided Design, CAD) ortamına getirilir ve düzenlenerek harita üretimi aşamasına geçilir.



Şekil 3.5: Nokta bulutu tabanlı harita üretimi [29]

OSM standartları kullanılarak geliştirilmiş açık kaynak harita üretim ve sunucu yazılımlarından Osiris mevcut yazılımlar arasında en güncel olanlar arasındadır. [29]



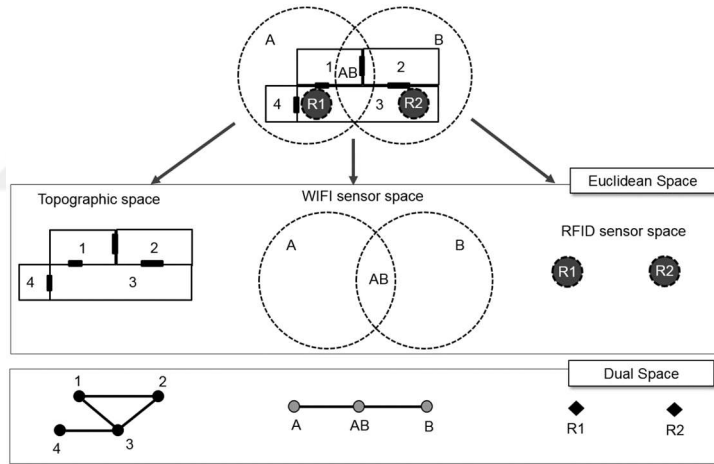
Şekil 3.6: Osiris uygulamasında JOSM ile örnek harita üretimi [30]

3.6 Veri Modeli

Kapalı alan konum servislerinde yoğun olarak kullanılan veri modeli Açık Mekansal Bilgi Topluluğu (Open Geospatial Consortium, OGC) tarafından standartları belirlenmiş olan XML yapısındaki IndoorGML standardıdır. [27]

IndoorGML ve yine bir OGC standardı olan CityGML LoD4 kapalı alanların mekansal verilerini göstermek için kullanılan bir veri modelidir. CityGML LoD4 verisi yalnız bina verilerini içerirken IndoorGML verisi ise binaların bağlantı yollarının, odalarının, katlarının, kaplarının, merdivenlerinin, asansörlerinin vb. bağlantı arabirimlerinin de modellenmesini içermektedir.

IndoorGML, kapalı alan için temel bir veri modeli tanımladığından IndoorGML kullanılarak farklı uygulamalar geliştirilebilir.[27] Şekil 3.7’de birden fazla kat içeren bir binanın IndoorGML standartlarına göre modellenmiş örneği bulunmaktadır.



Şekil 3.7: Çok katlı binanın sembolik gösterimi [31]

3.7. En Kısa Yol Algoritmalar

3.7.1 Bellman Ford algoritması

Tek kaynaktan gelen en kısa yol problemlerini çözen basit bir algoritmadır. Ancak ölçeklenebilirlik açısından sorunlu olduğu için her bir düğüm üzerindeki değişiklikler için tüm düğümlerde değişiklik yapılması gerektiği için hız açısından sorunlu bir algoritmadır. Algoritma ağırlıklı graf üzerinde çalışır ve Dijkstra algoritmasının daha da optimize edilmiş hali olarak düşünebilir. [32] Çizelge 3.6 da Bellman-Ford algoritmasına örnek python kodu ve Çizelge 3.7’ de bu koda ait çıktılar gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Bellman-Ford Algoritması Python Kodu [33]

```
# Python program for Bellman-Ford's single source
# shortest path algorithm.

from collections import defaultdict

#Class to represent a graph
class Graph:

    def __init__(self,vertices):
        self.V= vertices #No. of vertices
        self.graph = [] # default dictionary to store graph

    # function to add an edge to graph
    def addEdge(self,u,v,w):
        self.graph.append([u, v, w])

    # utility function used to print the solution
    def printArr(self, dist):
        print("Vertex    Distance from Source")
        for i in range(self.V):
            print("%d \t\t %d" % (i, dist[i]))

    # The main function that finds shortest distances from src to
    # all other vertices using Bellman-Ford algorithm. The
function
    # also detects negative weight cycle
    def BellmanFord(self, src):

        # Step 1: Initialize distances from src to all other
vertices
        # as INFINITE
        dist = [float("Inf")] * self.V
        dist[src] = 0

        # Step 2: Relax all edges |V| - 1 times. A simple
shortest
        # path from src to any other vertex can have at-most |V|
- 1
        # edges
        for i in range(self.V - 1):
            # Update dist value and parent index of the adjacent
vertices of
            # the picked vertex. Consider only those vertices
which are still in
            # queue
            for u, v, w in self.graph:
                if dist[u] != float("Inf") and dist[u] + w <
dist[v]:
                    dist[v] = dist[u] + w

        # Step 3: check for negative-weight cycles. The above
step
        # guarantees shortest distances if graph doesn't contain
# negative weight cycle. If we get a shorter path, then
there
        # is a cycle.

        for u, v, w in self.graph:
```

```

        if dist[u] != float("Inf") and dist[u] + w <
dist[v]:
            print "Graph contains negative weight
cycle"
            return

    # print all distance
    self.printArr(dist)

g = Graph(5)
g.addEdge(0, 1, -1)
g.addEdge(0, 2, 4)
g.addEdge(1, 2, 3)
g.addEdge(1, 3, 2)
g.addEdge(1, 4, 2)
g.addEdge(3, 2, 5)
g.addEdge(3, 1, 1)
g.addEdge(4, 3, -3)

#Print the solution
g.BellmanFord(0)

#This code is contributed by Neelam Yadav

```

Çizelge 3.7: Kodun Çıktısı[33]

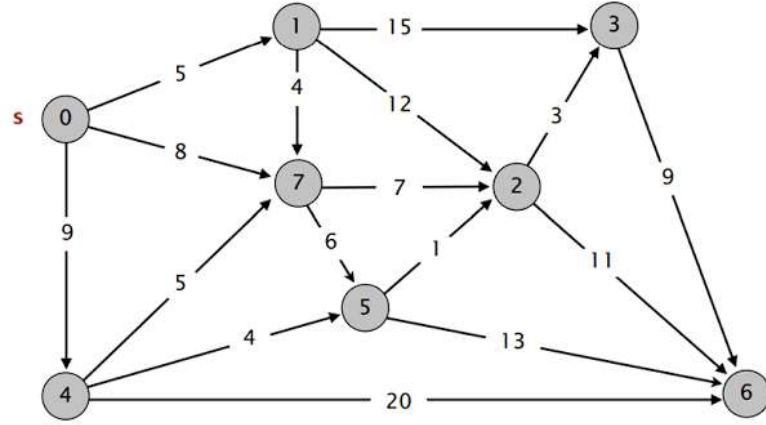
Vertex	Distance from Source
0	0
1	-1
2	2
3	-2
4	1

3.7.2 Dijkstra algoritması

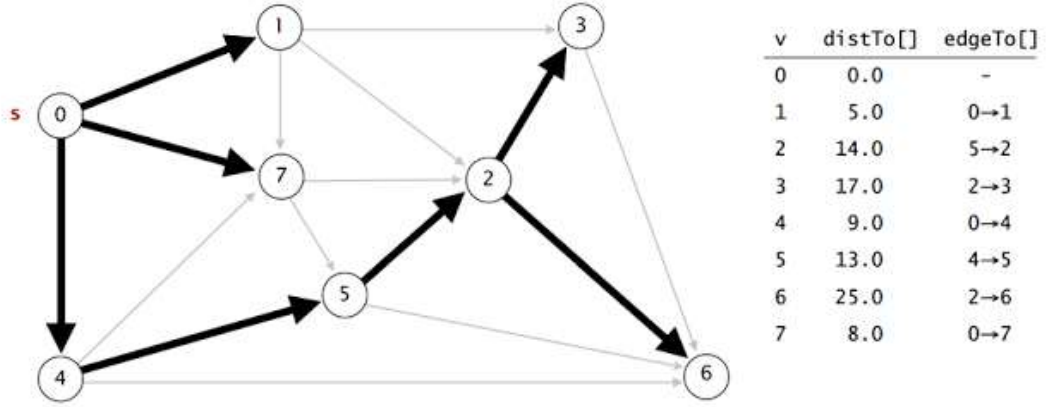
Dijkstra Algoritması, en yaygın kullanılan en kısa yol algoritmasıdır. Taşımacılık, posta, kargo uygulamalarında rota hesaplamalarında bu algoritma kullanılmaktadır. Open Shortest Path First (OSPF) algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Bir noktadan başka bir noktaya giden en kısa yolu hesaplamak için klasik ve en yaygın kullanılan algoritma olarak bilinmektedir. İlk defa 1059 yılında Edsger Wybe Dijkstra tarafından açıklanmıştır. Karmaşık yapılar için uygun değildir [34]. Temel prensip

olarak başlangıç noktasından itibaren komşu tüm noktalarda yakınlığı hesaplar ve hedefe ulaşmaya kadar devam eder.[32]

Şekil 3.8’de örnek bir problem tanımlanmış ve Şekil 3.9’da bu problemin çözümü sağlanmıştır.



Şekil 3.8 : Dijkstra algoritması için örnek problem [32]



Şekil 3.9: Dijkstra algoritması için örnek problem çözümü [32]

3.7.3 Floyd-Warshall algoritması

Floyd-Warshall, graf tabanlı veri kümelerinde düğümler arası en kısa mesafelerin bulunması için kullanılabilir basit ve hızlı algoritmalarından birisidir. Bu özelliğinden dolayı, maksimum akış (maximum flow) problemleri olarak bilinen, ve örneğin bir dağıtım şebekesinde bir kaynaktan bir hedefe gönderilebilecek azami miktarı sevki

eden problemlerin çözümünde kullanılabilen bu algoritma, algoritmayı bulan iki kişinin ismi ile anılmaktadır. Algoritma basitçe bir grafta gidilebilecek düğümlerin komşuluk listesini (adjacency list) çıkararak bu düğümlere olan mesafeyi tutan bir matris üzerinden çalışır.

Algoritmanın her adımında matris üzerinde çeşitli işlemler yapılarak en kısa yol bulunmaya çalışılır.[31]

Algoritmanın kullanım alanları aşağıda listelenmiştir:

- Yönlü graflarda en kısa yolun bulunması için
- Bir düğümden seyahat edilebilecek diğer düğümlerin bulunmasında (transitive closure).
- Düzenli ifadelerde (regular expressions) herhangi bir tekrarlı olayın tespiti için
- Ağ programlamasında özellikle yönlendirici algoritmalarında (routing algorithms) en kısa yolun tayin edilmesinde kullanılabilir.
- Yönsüz bir grafın (undirected graph), iki parçalı graf (bipartite graph) olup olmadığının bulunmasında kullanılabilir. Basitçe graftaki mesafelerin tamamını 1 uzunluğunda kabul edersek (veya mesafe olarak atlanan düğüm sayısını (hop count) kabul edersek) bu durumda bir düğümden gidilebilen bütün komşu düğümlerin mesafesi ya tek ya da çift olmalıdır. Bir düğümün hem tek hem de çift komşusu varsa bipartite değildir denilebilir.[35]

3.7.4 A* algoritması

En kısa yol algoritmalarından biridir. Örneğin gezen satıcı problemi gibi bir problemin çözümünde tercih edilir. Sıklıkla oyun algoritmalarında da kullanılmaktadır. Kısaca bir noktadan hedef noktaya en kısa yol üzerinden gidilecek yolu bulmaya yarayan bir algoritmadır. A* algoritması yapı olarak sezgisel bir algoritma olarak da adlandırılır. Yani başka bir deyişle yapay zeka algoritmasıdır.

Hesaplama kullanılan fonksiyonu

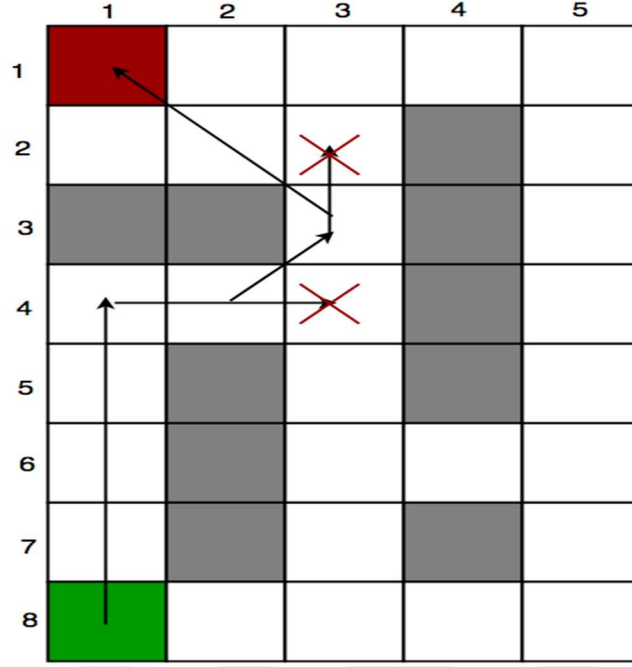
$$F(n)=g(n)+h(n) \text{ ' dur}$$

F(n) = hesaplama yapan sezgisel fonksiyon

g(n)= Başlangıç noktasından hedef noktaya gelmek için gerekli maliyet.

h(n) = Başlangıç noktasında hedef noktaya varmak için tahmin edilen mesafe

A* algoritmasına sezgisel yani yapay zeka algoritması olarak adlandırılmasının sebebi $h(n)$ fonksiyonun tahmine dayalı bir fonksiyon olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.10 : A* algoritması için örnek problem çözümü [36]

Şekil 3.10'da gösterildiği gibi (8,1) noktasından (1,1) noktasına gitmek için en kısa yol hesaplaması yapılmaktadır. A* algoritması yapay zeka mantığı ile çalıştığı için her bir adımda bir yapay zeka hesaplaması yapılmaktadır. Algoritmaya göre (4,2) den direkt (3,3) e gidilmektedir.



4. KAPALI ALAN HARİTA ÜRETİM KATKISI

Kapalı alan konum belirleme sistemleri yeni gelişmekte olan bir sektördür. Başlangıç noktasında olan bu teknolojinin uygulanmasındaki iş süreçlerinin analizi ve iş akışı Şekil 4.1’de, kapalı alan navigasyon işi yol haritası ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir. İş akış diyagramına göre yapılan tüm işleri 4 ana başlık altında sınıflandırılabilir.

4.1 Planlama Süreci

Kapalı alan konum servislerinin kurulum yapılacağı alanda analiz ve maliyet çok önemlidir. Öncelikli olarak birim maliyetin mevcut altyapı sistemlerinin kullanarak düşürülmesi bu servislerin yaygınlaşması için önemlidir. Bu süreçte kullanıcıların mevcut altyapıları analiz edilir, ihtiyaçlar belirlenir ve bu ihtiyaçlara göre gerekli donanım gereksinimi ortaya çıkarılır, maliyet analizi ortaya konur

Ön Keşif : Bu süreçte bina içi gerekli donanım maliyeti ortaya konur.

Kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesi : Burada konumsal servislerin hangi amaçla kullanılacağı ve kullanılacak lokasyon için gerekli ihtiyaç listesi çıkarılır.

Maliyet Analizi : Keşif işlemlerinden sonra tahmini maliyet çıkarılır ve kullanıcının onayına sunulur.

4.2 Veri Üretim Süreci

Veri üretim sürecinde ise bina içi verilerin toplanması ve üretimin planlanması gereklidir. Bina için mekansal veriler ve harita üretimi bu süreçte tamamlanır. Öncelikli olarak mekansal verilerin tercih edilen harita üretim yazılımına uygun hale getirilmesi veya buna uygun olacak nitelikte baştan üretilmesi gerekmektedir. Bu süreçte veritabanı işlemleri ve harita üretimi temel işlerdendir.

Veri Hazırlama : Veri hazırlama süreç öznelik verisi ve mekânsal veri olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Kullanıcıdan talep edilen veriler bu adımdan sonra kullanıma hazır hale getirilmektedir.

Öz nitelik verisi : Bu aşamada temin edilen öz nitelik verisi veritabanına işlenir. Öz nitelik verisinin mekânsal veri ile doğru eşleştirilmesi çok önemlidir.

Mekansal veri : Navigasyon hizmeti kurulacak binanın vektörel verilerinin mevcut olup olmadığı araştırılmalıdır.

Harita verisine dönüştürme : Kullanıcıdan talep edilen mevcut mekansal veriler harita verilerine dönüştürme işlemi yapılmalıdır. Yakın zamanda inşa edilmiş pek çok binaya ait vektörel mimari çizimler ve kat planları dwg formatında mevcuttur. Bu dwg formatında temin edilen planlar uygulamada kullanılan harita verisine dönüştürülür.

Raster veri : Eğer vektörel veri mevcut değilse kullanıcıdan raster veri talep edilir. Raster veride mevcut değilse gerekli ölçümler yapılarak raster verisi üretimi sağlanır.

Raster veri ölçeklendirme : Temin edilen veya üretimi yapılan raster veri Google,yandex,here map veya openstreetmap gibi harita hizmetlerinde faydalanılarak ölçeklendirilir. Daha hassas ölçeklendirme işlemleri için ise binaya ait 4 noktadan profesyonel GPS cihazları ile ölçümler yapılarak harita üretimi sağlanır.

Kapalı Alan Harita Üretimi : Kullanıcıdan temin edilen vektörel veriden veya raster veriden üretilen harita verileri için gerekli kapalı alan harita üretimi yapılır. Bu adımda tercih edilen kapalı alan etiketleme standartlarına uygun üretim yapılır, veritabanı işlemlerinin ardından harita dosyaları dosya sunucusuna kopyalanır.

4.3 Donanım Tedarik ve Kurulum Süreci

Kapalı alanlarda konumsal servisler için bina içinde kullanılacak sinyal vericilerin de konumları önem kazanmaktadır. Planlama sürecindeki toparlanan veri bu süreçte önemlidir. Kullanılacak donanımların kalitesi, sinyal seviyesi ve kapsama alanı burada tamamlanmaktadır.

Donanım Montaj : Bu adımda ön keşif sonucu belirlenen noktalara gereği kadar sinyal verici veya alıcıların montajı sağlanır. Bu aşamada belirlenen donanım ihtiyacı ilk keşif adetlerinden farklılık gösterebilir. Ayrıca montaj işlemi yapılacak lokasyonların uygun olarak belirlenmesi gereklidir. Montaj işlemi yapılan cihazların lokasyon bilgileri bu adımda üretilmektedir.

Kalibrasyon : Uygun lokasyonlarda donanım montajı yapıldıktan sonra cihazlara konuma bağılı olarak kalibrasyon ayarlanması yapılmalıdır. Bazı lokasyonlarda sinyalin güçlü olması gerekebileceği gibi sinyalin düşük olması gereken alanlarda olabilmektedir.

Kapsama Alanı Analizi : Yeterli miktarda montajı yapılan donanımların ayarlama ve kalibrasyon işlemlerinden sonra ihtiyaç analizinde hizmet noktalarının kapsama alanlarının sorunsuz olup olmadığı analiz edilmelidir. Eğer kapsama alanında sorun tespit edilirse ilave donanım montajı yapılır veya mevcut donanımların yeniden kalibrasyonu yapılarak kapsama alanında sinyallerin yayımlanması sağlanmış olur. Bu aşamada tüm veriler sorunsuz olduğu tespit edildikten sonra kalibrasyon ve donanım lokasyon verileri veritabanına işlenir.

4.4 Konumsal Hizmet Süreci

Kapalı alanlarda konumsal veriler üretildikten, gerekli donanım kurulumları yapıldıktan sonra bu verilerin bir sunucu yardımı ile kullanıcının diğer tür işleri yapması için başka tür yazılımlara sunulduğu aşamadır. Bu aşamada performans ve güvenlik çok önemlidir.

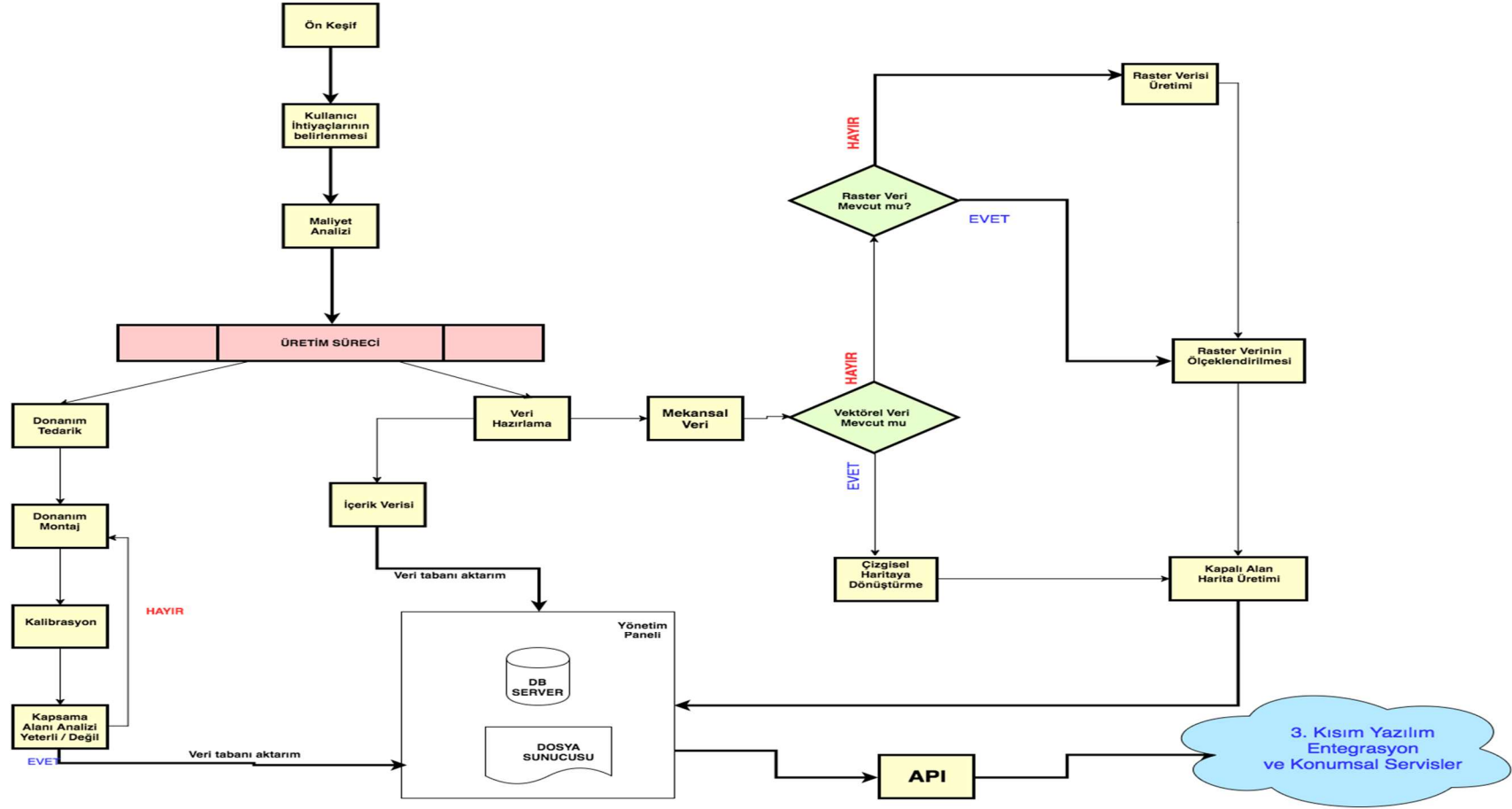
Yönetim Paneli : Üretilen kapalı alan harita dosyaları ve binada bulunan odalara ait öznitelik verileri tercih edilen uygulama yönetim paneli uygulaması ile gerekli hizmetlere uygun hale getirilir. Verinin güncellenme işlemleri de bu adımda sağlanmaktadır.

API : En önemli işlem adımlarından biridir. Bu adımda tüm harita verilerinin ve öznitelik verilerinin yetkisiz kullanımı veya erişimi söz konusu olabileceği için güvenlik bu adımda önem kazanmaktadır. Bu adımda üretilen hizmet farklı yazılımlar ile entegre edilir veya mobil uygulamalar ile navigasyon hizmeti verilir.



Şekil 4.1: Konumsal servisler için iş planı

Kapalı Alan Navigasyon İşi Süreç Modellemesi



Şekil 4.2: Kapalı alan navigasyon işi işlem adımları

4.5 Kapalı Mekan Veri Katmanları

Yakın zaman kadar bilgisayar ağları ve bilgisayarların kendi aralarında iletişim için bir standart bulunmamaktaydı. Herbir firma kendine göre uygulamalar geliştirerek bu konuda çözümler geliştirmeye çalıştılar. Fakat günümüzde farklı sistemlerin de birbirleri ile iletişim halinde olması ihtiyaçları olduğu için ortak bir model geliştirilmek ihtiyacı hissedilmiştir. Kısaca bahsetmek gerekirse bilgisayar ağ sistemlerinde Unix, Microsoft ve Apple firmalarının herbirinin ayrı bir ağ paylaşım sistemleri bulunmaktaydı. ISO data modeli ile bu sorun çözülmüş ve ağ ortamındaki tüm cihazlar artık tek bir standart üzerinden haberleşmeye başlamıştır. Veri transferinde mutlaka OSI modeline göre sıra takip edilmektedir.

Kapalı alan konum servisleri için de yukarıda bahsedilen sorun geçerlidir. Pek çok firma kendine özgü kapalı alan konum servisi sunmakta ve bunları kendi geliştirdikleri yazılımlar ile yapmaktadır. Bu konuda çalışma yapan pekçok firma standartlaşma olmadığı ve firmaların geliştirdiği özel yazılımların farklı çözümler ve teknolojiler ile iletişim kurmakta sıkıntı yaşaması nedeniyle çalışmalarını devam ettirememiştir.

Standartları kabul görmüş OSI Modeli referans alındığı zaman kapalı alan mekansal veri iletimi ve sistemlerin birlikte işlerliği sağlanabilecektir. OSI modeli Çizelge 4.1'de gösterilen 6 katmandan oluşmaktadır.

Çizelge 4.1 : Kapalı alan konumsal veri model katman önerisi

6	LBS Katmanı
5	Konumsal Katman
4	Algoritma
3	Sinyal Katmanı
2	Ağ Katmanı
1	Fiziksel Katman

Fiziksel Katman: Verilerin alıcıya nasıl iletileceğinin belirlendiği katmandır. Bir ve sıfırların nasıl sinyallere çevirileceğini tanımlamaktadır.

Ağ Katmanı: Bu katmanda fiziksel katmandan gelen veri paketlerine cihazların birbirlerini tanımlamaları için gerekli değişken verileri eklenir ve bir sonraki katmana iletim sağlanmaktadır.

Sinyal Katmanı: Bu katman, ağ katmanından gelen verinin iletilmesi için sinyal güçlerinin belirlenip verinin kablosuz sinyallere dönüştüğü katmandır.

Algoritma Katmanı: Bu katman sinyal katmanından gelen verilerin hesaplanıp konumsal katmana iletileceği algoritma katmanıdır.

Konumsal Katman: Bu katman, algoritma katmanında hesaplanan veya ölçülen değerlerin konumsal olarak gösterimin yapıldığı katmandır.

Konumsal Servis Katmanı: Konumsal olarak belirlenmiş verilerin uygulamaya iletildiği katmandır.



5. KONUM SERVİSLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

5.1 Sağlık Kuruluşları

Hastanelerde konum belirleme hizmeti diğer kullanım alanlarına göre daha öncelikli alanlar arasında kabul edilebilir. Hastanelerde acil durumlar için personel takibi veya medikal envanter takibi yapılabilmektedir. Ayrıca hastaların hastane içinde geçirdikleri sürenin kısaltılması ile hasta memnuniyeti ve hastane hizmet kalitesi de arttırılmış olmaktadır.

5.2 Otopark Uygulamaları

Kapalı alanlarda araç parkları için konum algoritmaları da yaygınlaşmaya başlamıştır. Araçların park edilmesi için ayrılan alanların bir veritabanı ve konum belirleme yöntemleri ile yönetimi yapılabilmektedir. Böylece özellikle araç sürücülerinin boş park alanlarını bulma ve park edilmiş araçların yerini bulması mümkün hale gelmektedir.

5.3 Müzeler

Müzelerde, ziyaretçiler daha çok rehber desteği ile gezmekte ve bu rehberlerin anlattıkları üzerinden müze deneyimi yaşamaktadırlar. Burada en büyük sorun ise rehberlerin ziyaretçilerin dilini bilmemesi ve bu nedenle yaygın kullanılan bir dil kullanarak rehberlik işinin yapılmasıdır. Rehber gereksinimi hissetmeden gezmek isteyen turist ve turist grupları için kapalı alan konum tabanlı hizmetlerden yararlanılabilir. Kullanılan kapalı alan konum servislerinin dışında yakınlık (proximity) algoritması ile ziyaretçinin yakın olduğu nesne hakkında internetten veya veritabanından sesli veya görsel olarak bilgi sunulabilir ve ziyaretçi davranışları izlenip raporlanabilir.

5.4 Lojistik

Lojistik alanında envanter takibi en çok karşılaşılan sorunlardan biridir. Özellikle depolarda malzeme sevkiyatında ve ürün stok sayımında önemli bir konudur. Depolardaki ürünlere erişim zamanını kısaltmasının yanında stok sayımı için de zaman kaybını azaltacaktır.

5.5 Yardıma Muhtaç İnsanlar için Rehberlik

Ülkemizde görme engeli olan kişilere yardım etmek üzere Boni firması tarafından tasarlanmış sesli adımlar projesi yapılmıştır. Projede amaç görme engelli kişilerin bina içinde yakınından geçtikleri bölgeleri seslendirmesi ve çıkış kapısı, tuvalet gibi acil ihtiyaç duyulabilecek yerlerin başka birinden destek almadan bu teknoloji ile ulaşım rahatlığı söz konusudur.

5.6 Yer altı İnşaatı

Maden ocaklarında konum servislerinin yanında personel takibi için kullanım alanı söz konusudur. Yer altında çalışan ve internet ve GPS sistemlerinin yetersiz kaldığı yerlerde RFID ve ibeacon teknolojileri kullanılmaktadır. Burada endüstriyel kullanımda olduğu gibi yüksek hassasiyetli konum bilgisine gerek yoktur. Sadece personel son konumları ve kişi listesini almak yeterli olmaktadır. Felaket durumunda anında personelin en son bulunduğu konum bilgisi ve personel sayısına erişim mümkün olduğu için yardım çalışmalarında çok faydalı olmaktadır.



Şekil 5.1: Arttırılmış gerçeklik POI örneği [37]

5.7 Arttırılmış Gerçekliğe Dayalı Uygulamalar

Konum belirleme servisleri Android 8 ve IOS 11 ile birlikte işletim sistemi düzeyinde desteklenmektedir. Bu sistemlerin yaygınlaşması ile kapalı alanlarda konum servisleri daha farklı teknoloji altyapısı ile kullanıma sunulabilmektedir. Bu tür sistemler kısaca mekansal altlığa gereksinim duymadan kamera aracılığı ile yön tarifi yapabilmektedir. Arttırılmış Gerçeklik (Augmented Reality, AR) gerçek dünya üzerinde sanal dünyanın yerleştirilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji ile daha önceden tasarlanmış (modellenmiş) nesnelerin gerçek dünyada görüntü ile birlikte gösterilmesi biçiminde uygulanmaktadır. Arttırılmış gerçeklik teknolojileri mobil cihazların kapasitelerinin ve internet hızının artması son yıllarda hızla gelişim sağlamıştır. AR teknolojisi basit olarak GNSS sinyalleri ile hesaplanan konum bilgisinin kamera aracılığıyla gerçek dünyada yol ve yön tarifi gerçekleştirerek navigasyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Şekil 5.1). Kısaca önceden modellenmiş PoI veya yön nesnelerinin kamera aracılığı ile gerçek dünyada gösteriminin sağlanmasıdır.

5.8 Market Uygulamaları

Amazon firması tarafından geliştirilen Amazon Go uygulaması ile konum belirleme teknolojileri ve konum tabanlı hizmetler kullanılarak mağazalarda alışveriş yapan müşteriler için alışveriş yaptıktan sonra ödeme kuyruğunda beklemeden hızlı geçiş imkanı sağlamaktadır. Bunun için mağazaya giriş yapıldığında mobil uygulamanın açık olması yeterli olmaktadır. Sinyal verici istasyonlar aracılığı ile müşterinin mağaza içindeki konumu takip edilebilmekte ve bulunduğu konumdaki ürünü veritabanı aracılığı ile belirlenebilmektedir. Satın alınan ürünler mağaza çıkışı otomatik olarak faturalandırılıp müşterinin hesabından düşmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kapalı alan konum belirleme yöntemlerinden parmak izi, triangülasyon ve RSSI üzerinden hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Analiz sonucunda göre kapalı alan konum belirleme çalışmaları için öncelikle gereksinim analizi yapılmalıdır. Yerleştirilecek olan cihazların ne kadar enerji tükettikleri, sistemin amaca yönelik olarak hangi doğrulukta konum belirlemesi gerektiği vb. altyapı bilgilerine göre kullanılacak teknolojiler, donanımlar ve algoritmalar farklılıklar gösterebilmektedir. Kullanıcı arayüzünde kullanılacak olan haritanın doğruluğu ve görselleştirilmesi en az yöntem kadar önemlidir. Kullanıcı arayüzündeki haritalar 2D veya 3D olabilirler ancak daha da önemlisi sözü edilen haritaların OGC gibi bir mekansal veri standardına dayalı olarak üretilmiş olmalarıdır. Uygulamada bir çok firma sistemini lokal koordinat sistemini temel alarak geliştirmektedir. Bu durum küçük alanlar için sorun oluşturmasa da büyük ve karmaşık alanlarda sıkıntılar çıkarmaktadır. Ek olarak bu tür bir yaklaşımla açık alan ve kapalı alan ilişkisi doğrudan kurulamamakta ve bu da navigasyonun bütünlüğünü bozmaktadır. Ayrıca CityGML, BIM, IndoorGML gibi kente ve binaya yönelik standartların kullanılmasının yaygınlaşmasıyla global olarak tanımlanan koordinat sistemlerinin önemi daha da ortaya çıkacak ve lokal koordinat sistemine dayalı geliştirilen sistemlerle birlikte çalışabilirlik sorunu ortaya çıkacaktır.

Kablosuz radyo teknolojilerinden kapalı ortamlarda en çok kullanılan ve en kolay erişilebilen olan WiFi teknolojisi ile gerçekleştirilen kapalı alan konum belirleme doğruluğu yaklaşık 5-15 metre arasında sağlanabilmektedir. Her ne kadar WiFi teknolojisi bazı durumlarda altyapıya gereksinim duymadan doğrudan kullanılabilir olsa da daha yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda yeterli değildir. Tez çalışması kapsamında irdelenen kablosuz teknolojiler dikkate alındığında Bluetooth teknolojisinin diğer teknolojilere üstün olan ve tez içerisinde açıklanmış olan özellikleri nedeniyle kapalı alan konum belirleme için uygun bir çözüm olduğu tespit edilmiştir. Bluetooth teknolojisinin kullanıldığı kapalı alan konum belirleme uygulamalarında 1-5 metre arasında doğruluklara ulaşılabilmektedir. Bluetooth teknolojisinin 4. sürümünden itibaren düşük miktarda enerji tüketiyor olması BLE 4.x ve 5.0 teknolojilerinin kapalı alanlarda tercih edilmesine neden olmuştur.

Bluetooth teknolojisi 79 frekans aralığından oluşmasına rağmen ancak 40 tanesi BLE tarafından kullanılabilir. Diğer taraftan geniş alanlarda sinyal iletimi açısından kapsama dışında kalan bölgelerin olmaması için uygulamada çok sayıda sinyal verici kullanıldığı görülmektedir. Bu durumda farklı sinyal vericilerden gelen birim alana düşen sinyal sayısı artmakta ve 40 adet olan frekans aralığını doldurduğundan anlık veri iletiminde zamansal farklar oluşmaktadır. Sözü edilen zamansal farklar da algoritmanın hatalı konum hesabı yapmasına neden olmaktadır.

Bu ve benzeri durumlara en iyi örnek fuar alanlarında kapalı alan navigasyon çözümlerinin verimli çalışmamasıdır. Fuar alanında sinyal vericilerine ek olarak ziyaretçilerin kişisel cihazlarındaki BLE sinyalleri de birim alana düşen sinyal sayısını arttırmaktadır. Bu nedenle bu tür uygulama alanlarında parmak izi yönteminin uygulanması doğru sonuçlar üretmeyeceği için triyagülasyon yönteminin kullanılması önerilmektedir. Triyagülasyon yönteminde parmak izi yöntemine göre daha az sayıda sinyal verici ile çözüm geliştirilebilmektedir. Özellikle Bluetooth v5 teknolojisi ile sinyal verici ve alıcı arasındaki mesafenin v4 teknolojisine göre 4 kat fazla olması geniş alanlardaki verici sayısını azaltacaktır.

Kapalı alan konum belirleme sistemleri yalnız konum belirleme ve navigasyon amacı ile kullanılmamaktadır. Özellikle konum-bazlı hizmetlerle bütünleştirildiğinde katma değer yaratan bir çok uygulama geliştirilebilmektedir. Bunlara örnek olarak perakende sektöründe süreç iyileştirilmesi, müşteri memnuniyeti, bankacılık sektöründe kişilerin bankaya geldiklerinde fiziksel bir işlem yapmadan sıra numarası alabilmeleri gösterilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<https://angel.co/indoor-positioning>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [2] **Url-2** <<https://ondespot.com/wp-content/uploads/2016/12/proximity-marketing.jpg>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [3] **Guney, C.:** Rethinking Indoor Localization Solutions Towards The Future Of Mobile Location Based Services, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-4/W4, 235-247, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-235-2017>, 2017.
- [4] **Thanapal, P., Prabhu, J., & Jakhar, M.** (2017, November). A survey on barcode RFID and NFC. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 263, No. 4, p. 042049). IOP Publishing.
- [5] **Url-3** <<https://github.com/google/eddystone>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [6] **Bhattacharya, D., Canul, M., & Knight, S.** (2017, January). Case study: impact of the physical web and BLE beacons. In *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- [7] **Url-4** <<https://cdn.infsoft.com/www/images/blog/2017/infographic-infsoft-indoor-positioning-comparison-technology-server-EN-fullsize.jpg>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [8] **Url-5** <<http://www.artelektronik.com/images/otomasyon/kartli-gecis/hgs/hgs-hizli-gecis-sistemleri.jpg>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [9] **Url-6** <<http://image.iha.com.tr/Contents/images/2016/01/1448621.jpg>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [10] **Doğancı, Y. U.** (2008). *802.11 standartlarını kullanarak pozisyon tespiti* (Master's thesis, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [11] **Url-7** <<https://patents.google.com/patent/US9113344>> , alındığı tarih: 10.04.2018.
- [12] **Url-8** <<https://www.todaysoftmag.com/images/articles/tsm41/10.png>> , alındığı tarih: 29.06.2006
- [13] **Url-9** <<http://www.hexamite.com/images/diff3.gif>>, alındığı tarih: 29.06.2017.
- [14] **Campbell, B., Dutta, P., Kempke, B., Kuo, Y. S., & Pannuto, P.** (2015). Decawave: Exploring state of the art commercial localization. *Ann Arbor, 1001*, 48109.
- [15] **Alarifi A, Al-Salman A, Alsaleh M, Alnafessah A, Al-Hadhrami S, Al-Ammar MA, Al-Khalifa HS.** Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*. 2016; 16(5):707.

- [16] **Url-10** < https://www.decawave.com/sites/default/files/styles/front_page_slider_image/public/dw1000_2.png>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [17] **Bernardo, J. M. B. G. F.** (2017). Player Tracking using Ultrawideband.
- [18] **Farid, Z., Nordin, R., & Ismail, M.** (2013). Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013.
- [19] **Kök, İ. Ş.** (2009). Bina içi Konumlandırma Sistemi (Master's thesis, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [20] **Url-11** <<https://gelecegiyazanlar.turkcell.com.tr/blog/kapali- alanlarda-konum-tespiti/>>, alındığı tarih: 1.05.2018.
- [21] **Url-12** <https://www.nasa.gov/sites/default/files/gps_signals.png>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [22] **Url-13** < <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3spheres.svg> >, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [23] **Url-14** < <https://en.wikipedia.org/wiki/Trilateration>>, alındığı tarih: 1.05.2018.
- [24] **Karabey, I.** (2015). Wi-Fi Tabanlı Parmak İzi Yöntemi Kullanarak İç Ortam Konumlandırma (Master's thesis, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [25] **Url-15** < https://tr.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy>, alındığı tarih: 20.04.2018.
- [26] **Url-16** < http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Simple_Indoor_Tagging>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [27] **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.
- [28] **Jung, H., & Lee, J.** (2015). Indoor Subspacing to implement indoorGML for indoor navigation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 40.
- [29] **Ochmann, S., Vock, R., Wessel, R., & Klein, R.** (2016). Automatic reconstruction of parametric building models from indoor point clouds. *Computers & Graphics*, 54, 94-103.
- [30] **Url-17** < <https://github.com/osiris-indoor/sample-maps/wiki/How-to-map-a-building>>, alındığı tarih: 10.04.2018.
- [31] **Url-18** <<http://www.indoorgml.net/>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [32] **Url-19** < <https://buraktahtacioglu.blogspot.com.tr/2016/06/algorithm-tasarm-ve-analizi-vii.html>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [33] **Url-20** < <http://www.geeksforgeeks.org/dynamic-programming-set-23-bellman-ford-algorithm/>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [34] **Rodríguez-Puente, R., & Lazo-Cortés, M. S.** (2013). Algorithm for shortest path search in Geographic Information Systems by using reduced graphs. *SpringerPlus*, 2(1), 291.
- [35] **Url-21** < <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2009/05/29/floyd-warshall-algoritmasi>>, alındığı tarih: 10.10.2017.
- [36] **Url-22** < <https://www.geeksforgeeks.org/a-search-algorithm/>>, alındığı tarih: 1.05.2018.

[37] **Url-23** < <http://helloericritter.com/augmented-reality-will-beat-virtual-reality>>, alındığı tarih: 20.04.2018.





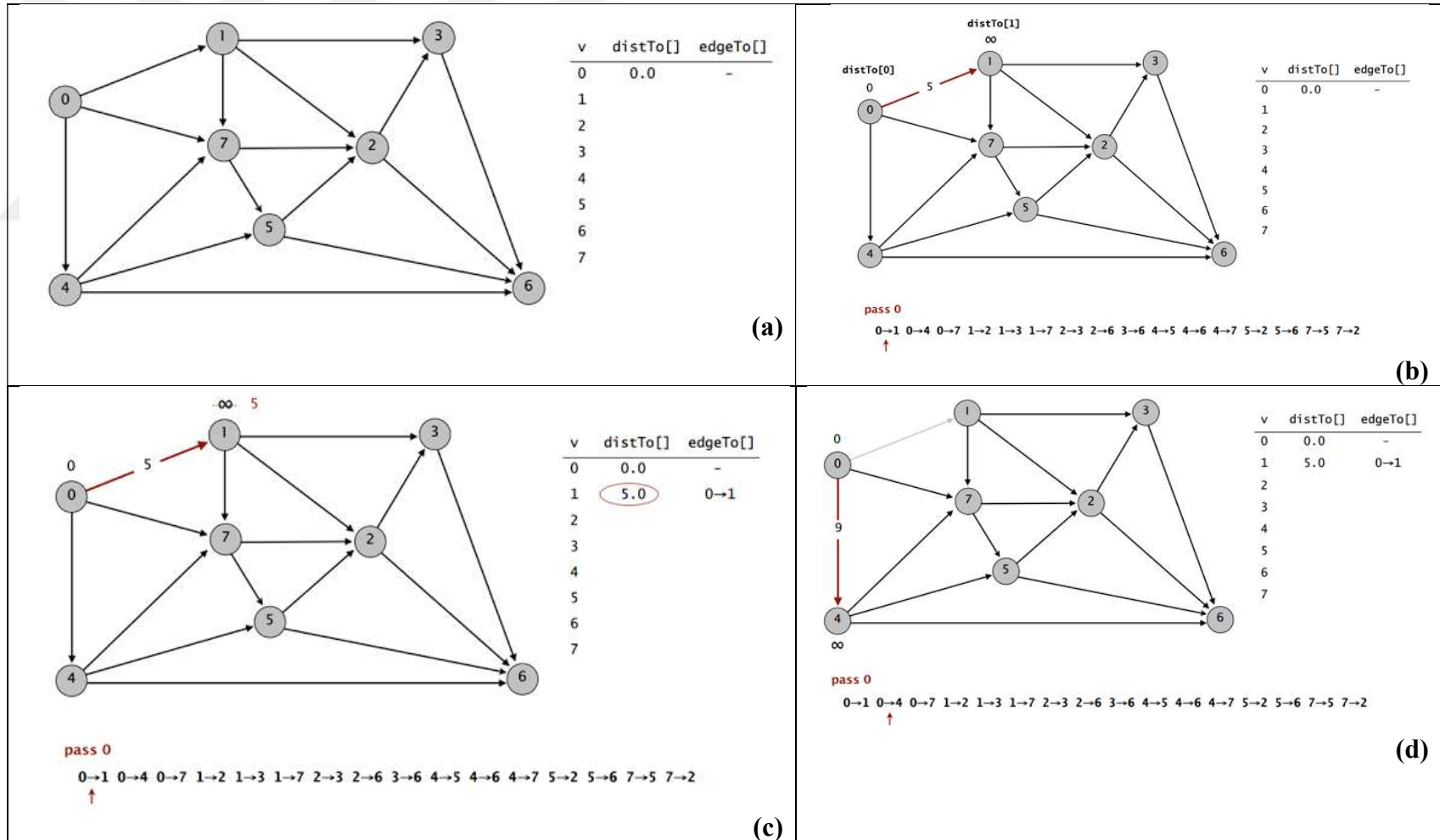
EKLER

EK A: Bellman-Ford Algoritması[32]



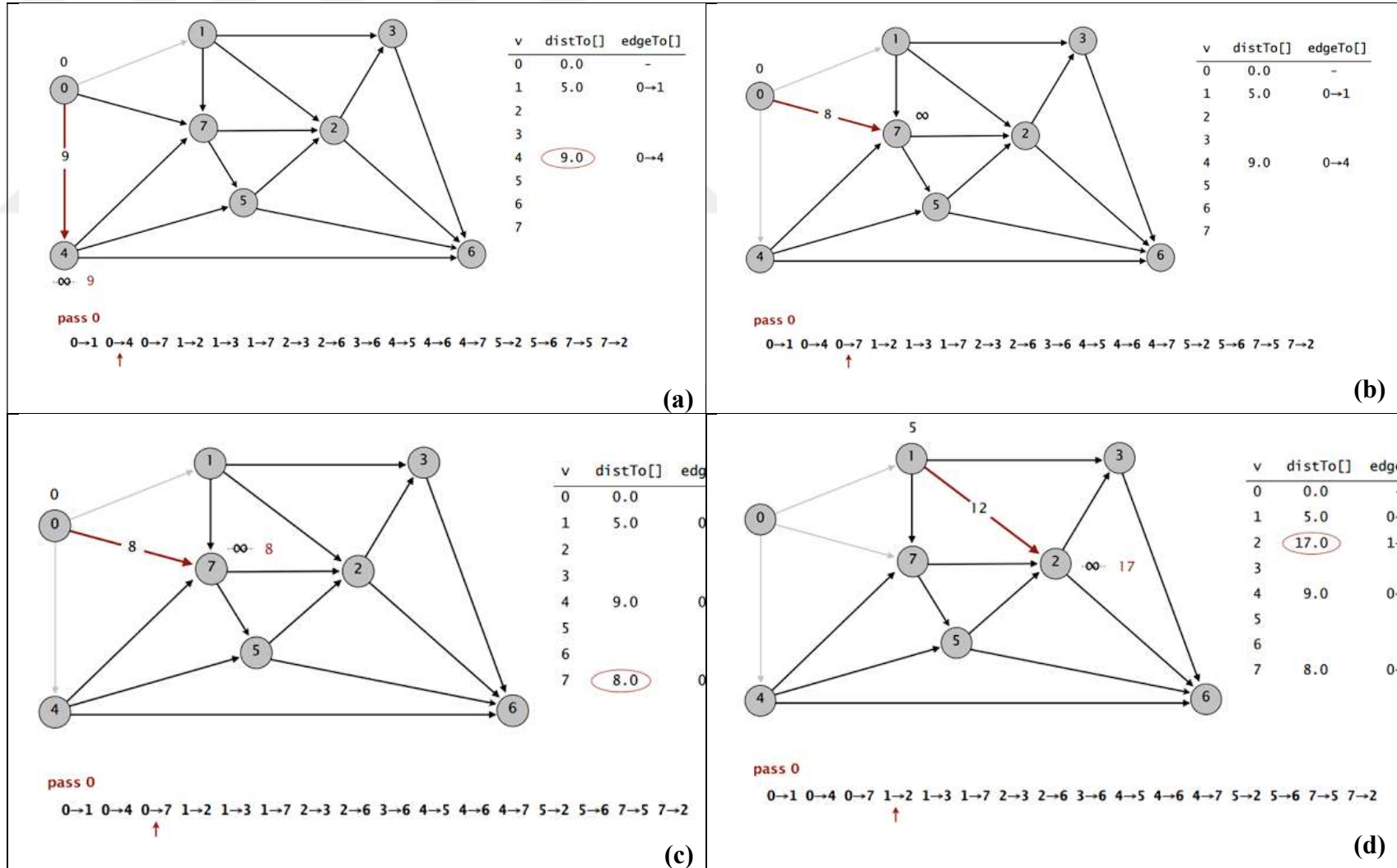


EK A.1



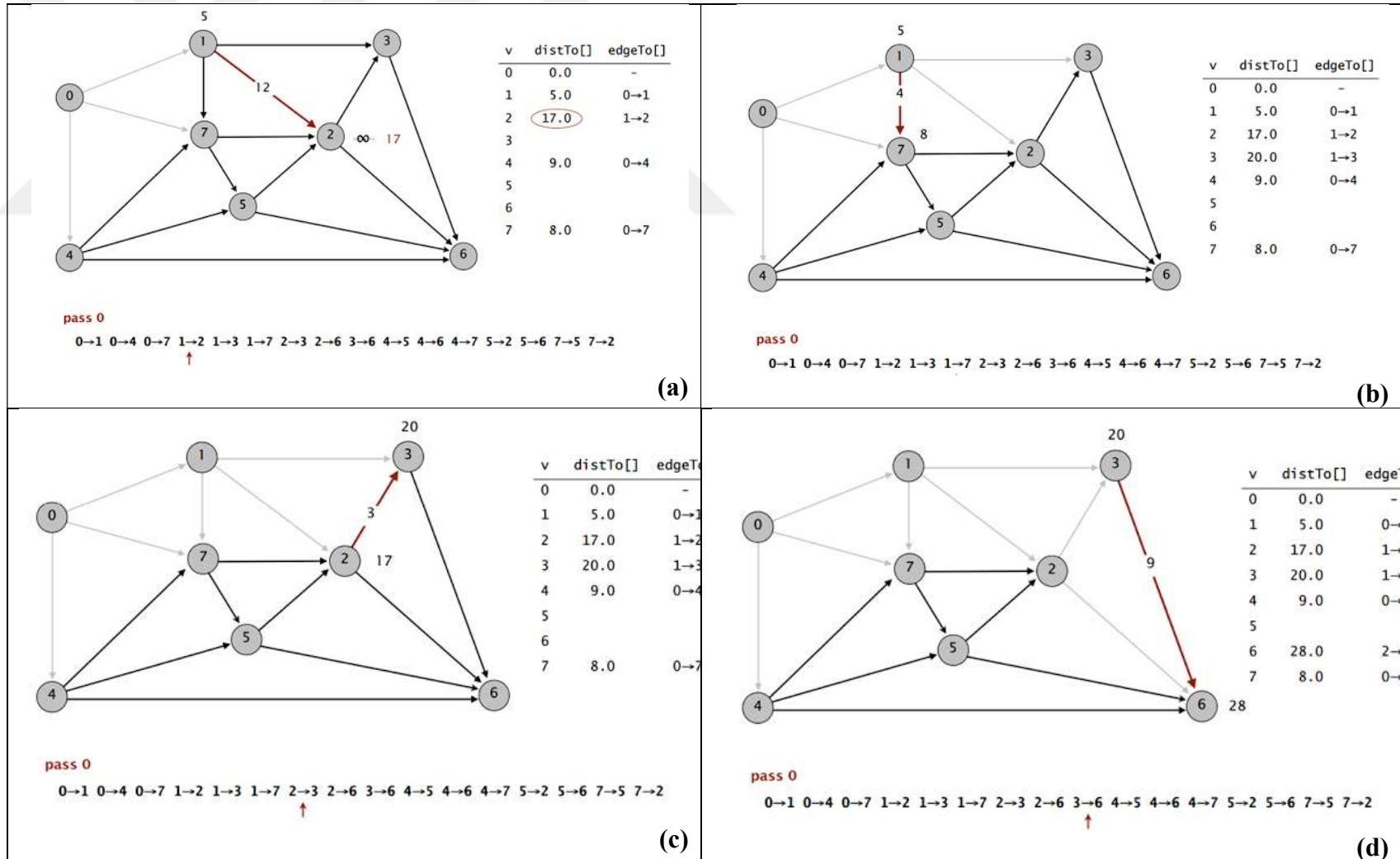
Şekil A.1 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 1.adım. (b) 3.adım. (c) 2.adım. (d) 4.adım

EK A.2



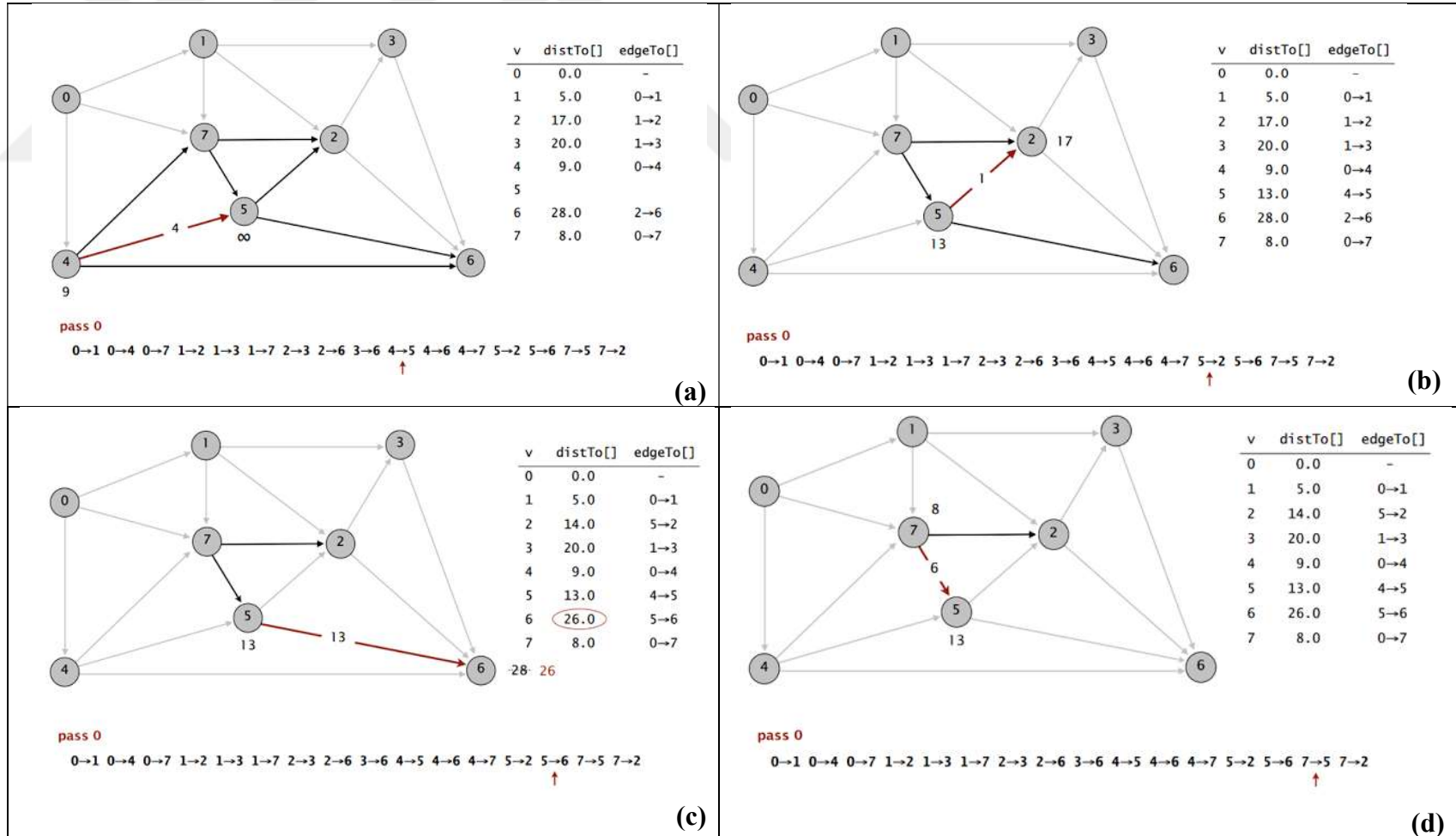
Şekil A.2 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 5.adım. (b) 6.adım. (c) 7.adım. (d) 8.adım

EK A.3



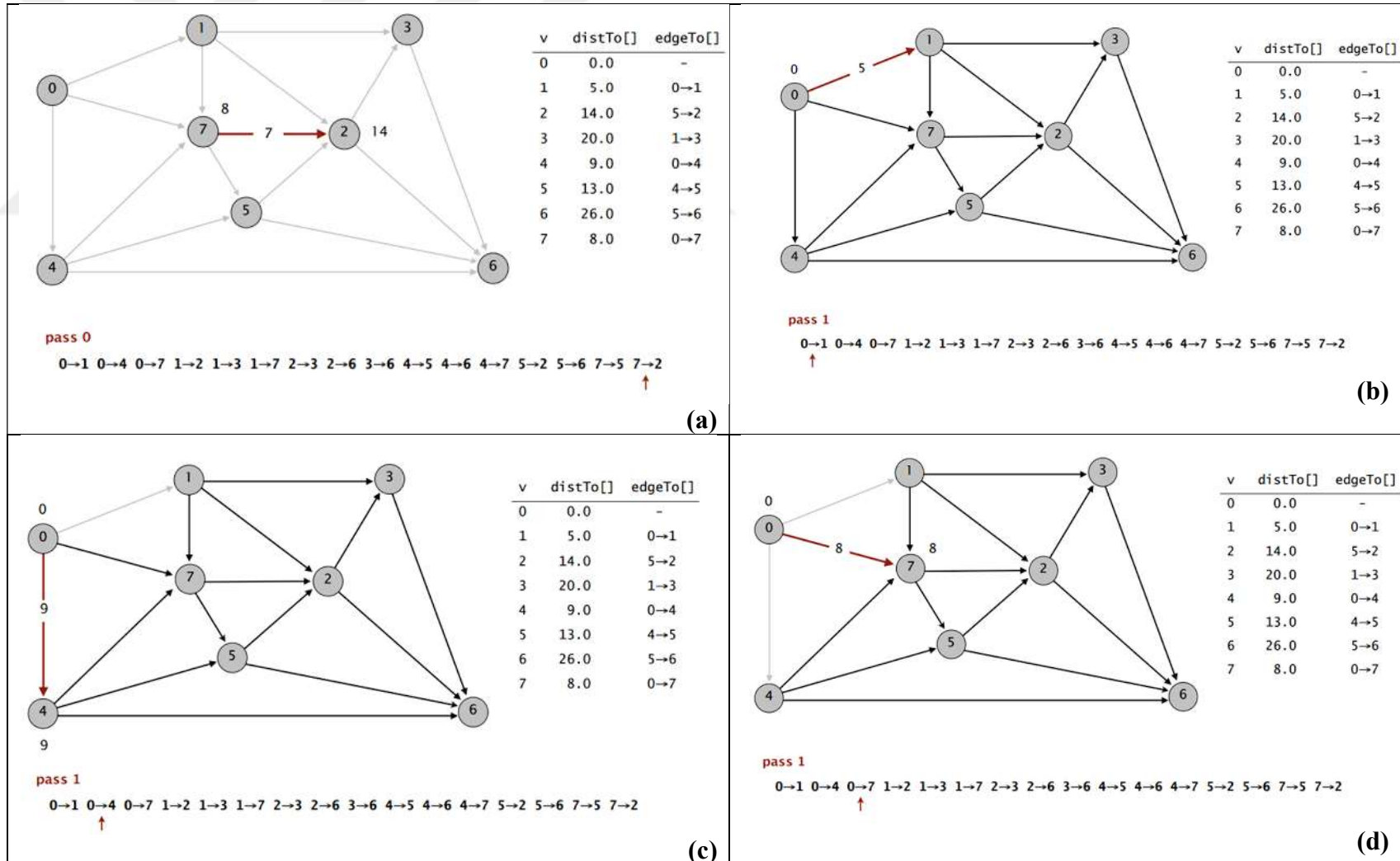
Şekil A.3 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 9.adım. (b) 10.adım. (c) 11.adım. (d) 12.adım

EK A.4



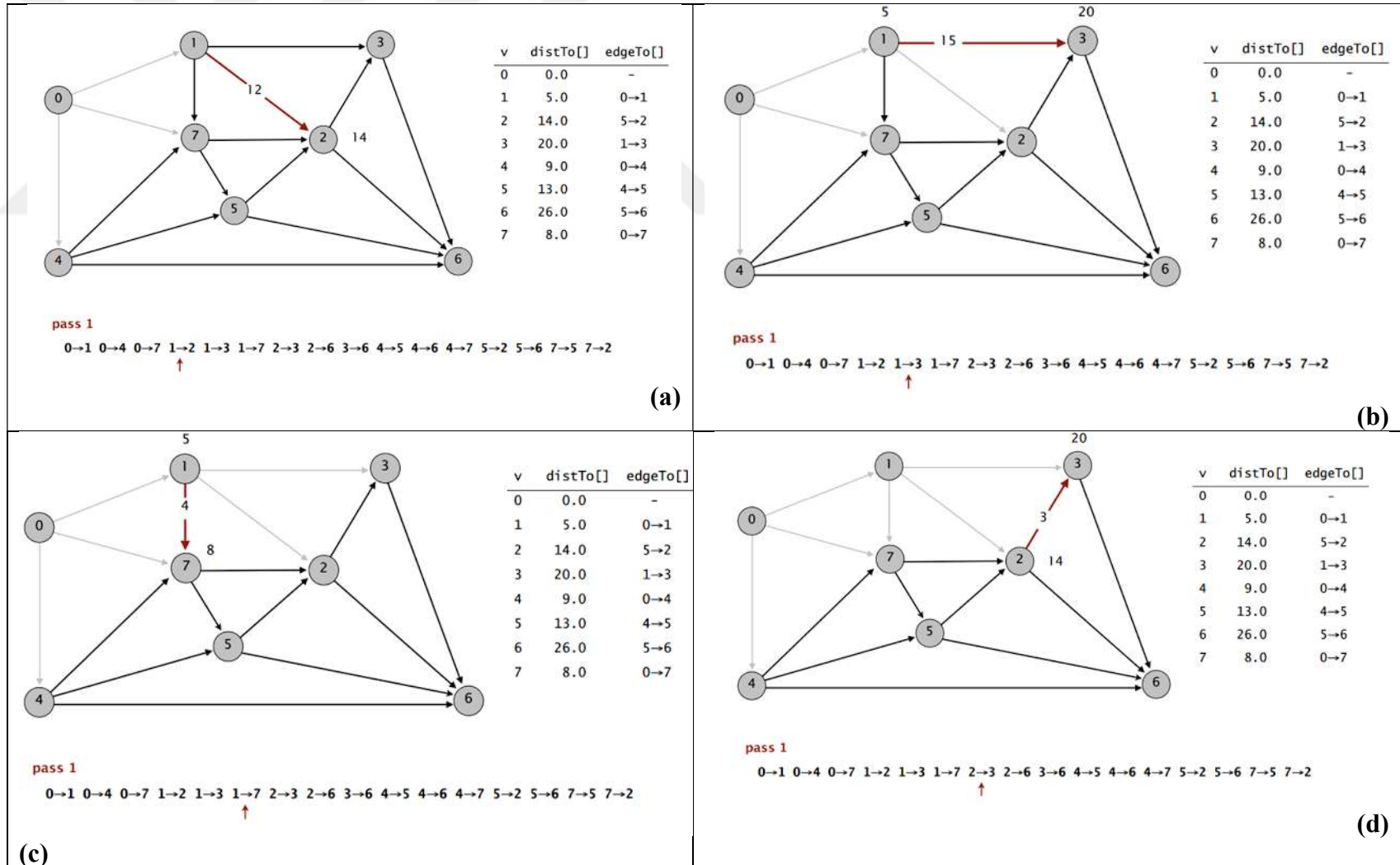
Şekil A.4 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 13.adım. (b) 14.adım. (c) 15.adım. (d) 16.adım

EK A.5



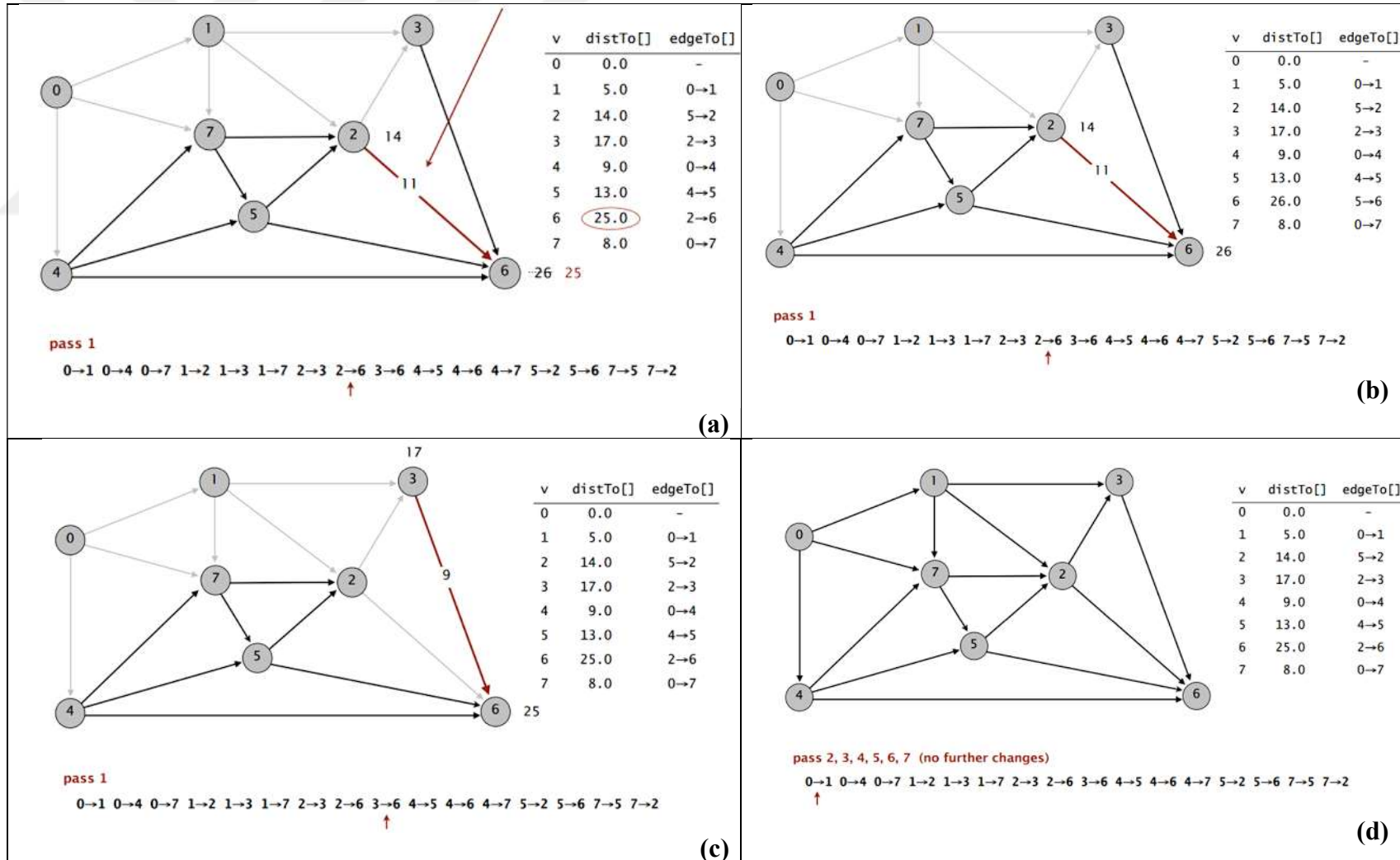
Şekil A.5 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 17.adım. (b) 18.adım. (c) 19.adım. (d) 20.adım

EK A.6



Şekil A.6 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 21.adım. (b) 22.adım. (c) 23.adım. (d) 24.adım

EK A.7



Şekil A.7 : Bellman-Ford Algoritması: (a) 25.adım. (b) 26.adım. (c) 27.adım. (d) 28.adım



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : YUNUS BAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 02/04/1977 İSTANBUL
E-posta : yunusbal@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölüm
- **Yükseklisans** : 2017, İTÜ, Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Coğrafi Bilgi Sistemleri

SERTİFİKALAR:

- 2005, CCNA-1-2-3-4
- 2012, TOEIC

VERİLEN EĞİTİM VE SEMİNERLER

- 2002, Cisco Eğitimi, Beyoğlu Belediyesi
- 2001, Linux ve Open Source, Boğaziçi Üniversitesi
- 2001, Open Source Databases, İstanbul Üniversitesi