

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OBJELERİN TOPOLOJİK İLİŞKİLERİNİN 3B CBS VE  
AĞ ANALİZİ KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Yük. Müh. İsmail Rakıp KARAŞ

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında  
Hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 17 Ekim 2007  
**Tez Danışmanı** : Doç. Dr. Fatmagül BATUK (YTÜ)  
**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER (İTÜ)  
: Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR (İTÜ)  
: Yrd. Doç. Dr. M. Ümit GÜMÜŞAY (YTÜ)  
: Yrd. Doç. Dr. Bülent BAYRAM (YTÜ)

**İSTANBUL, 2007**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OBJELERİN TOPOLOJİK İLİŞKİLERİNİN 3B CBS VE  
AĞ ANALİZİ KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Yük. Müh. İsmail Rakıp KARAŞ

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında  
Hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 17 Ekim 2007  
**Tez Danışmanı** : Doç. Dr. Fatmagül BATUK (YTÜ)  
**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER (İTÜ)  
: Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR (İTÜ)  
: Yrd. Doç. Dr. M. Ümit GÜMÜŞAY (YTÜ)  
: Yrd. Doç. Dr. Bülent BAYRAM (YTÜ)

**İSTANBUL, 2007**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ .....	iv
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 3B CBS Kavramı .....	1
1.1.1 3B CBS Gerçekleştirmenin Önündeki Zorluklar .....	4
1.2 Problemin Tanımı .....	8
1.3 Çalışmanın Amacı .....	10
1.4 Çalışmanın Kapsamı .....	11
1.4.1 Acil durum yönetimi.....	12
1.4.1.1 Mevcut Sistemler .....	12
1.4.1.2 Akıllı Sistemler .....	14
1.4.2 Bina İçi Navigasyon ve Adres Bulma .....	15
1.4.3 Bina İçi Güvenlik.....	16
1.4.4 Bina içi hizmetlerin organizasyonu .....	16
1.5 Literatür Araştırması.....	16
1.5.1 3B CBS'nin gerçekleştirimi yönünde yapılan çalışmalar.....	16
1.5.2 3B Ağ Analizi ve Navigasyon Uygulamaları ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	20
1.6 Metodoloji .....	21
2. 3B AĞ ANALİZİNİN TEMELLERİ .....	23
2.1 Genel Olarak (2B) Ağ Analizi Uygulamaları.....	23
2.1.1 İki Nokta Arasındaki Optimum Yolun Belirlenmesi (Route Optimization) .....	25
2.1.2 Optimum Dağıtım Güzergahının Belirlenmesi.....	29
2.1.3 Etki Alanının yada Merkezi konumun Belirlenmesi .....	30
2.1.3.1 Merkezlerin Etki Alanlarının Belirlenmesi .....	30
2.1.3.2 En Uygun Merkezi Konumun Belirlenmesi .....	31
2.1.4 Ağdaki Yoğunluğunun Tahmin Edilmesi.....	32
2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Topoloji .....	33
2.2.1 Topoloji Kavramı .....	33
2.2.2 CBS Açısından Topoloji.....	36
2.2.2.1 CBS'nde Topolojik Veri Yapıları.....	37
2.2.2.1.1 Hat-Düğüm (Arc-Node) Topolojik Veri Yapısı .....	40
2.2.2.1.2 Poligon-Hat (Polygon-Arc) Topolojik Veri Yapısı .....	41
2.2.2.1.3 Sol-Sağ (Left-Right) topolojik veri yapısı.....	41
2.2.2.2 Topolojisiz bir CBS Mümkün mü? .....	42

2.2.2.3	Düğüm (Node) ve Hat (Arc) Kavramları Üzerine.....	43
2.2.2.4	Sayıllaştırılan Verilerdeki Topolojik Hataların Giderilmesi.....	44
2.3	Graf Teorisi.....	45
2.3.1	Basit Graf.....	48
2.3.2	Çoklu Graf.....	48
2.3.3	Düzlemsel Graf.....	48
2.3.4	Üç Boyutlu Graf.....	49
2.3.5	Ağırlıklı (Maliyetli) Graf.....	49
2.3.6	Yönlü graf.....	50
2.3.7	Tamamlanmış Graf.....	50
2.3.8	Döngü.....	51
2.3.9	Ağaç.....	51
2.3.10	Yol (Path).....	51
2.3.11	Euler Yolu.....	51
2.3.12	Hamilton Turu.....	52
2.3.13	En Az Dallanan Ağaç.....	53
2.3.14	Bir Graftaki Merkezi Düğümün Bulunması.....	61
2.3.15	En Düşük Maliyetli Yolun Bulunması.....	63
3.	AĞ UYGULAMALARINA YÖNELİK 3B CBS PROTOTİPİ TASARIMI.....	65
3.1	Kavramsal ve Mantıksal Tasarım.....	65
3.2	Sistem Mimarisi.....	67
3.3	Otomatik Veri Üretimi ve Modelleme.....	70
3.3.1	MUSCLE Model.....	70
3.3.1.1	Eşikleme İşlemi.....	72
3.3.1.2	Yatay ve Düşey Tarama.....	72
3.3.1.3	Yatay ve Düşey Tarama ile Doğru Olarak Elde Edilemeyen Çizgilerin Belirlenmesi.....	76
3.3.1.4	Çapraz Tarama ile Hatalı Doğruların Elde Edilmesi.....	77
3.3.1.5	Elde Edilen Vektör Veri Üzerinde Gerçekleştirilen Topolojik Düzeltmeler.....	79
3.3.1.5.1	Doğru Parçalarının Uç Noktalarının Bir Araya Getirilmesi.....	79
3.3.1.5.2	Sarkan Doğru Uçlarının Düzeltilmesi.....	79
3.3.1.5.3	Erişmeyen Doğru Uçlarının Düzeltilmesi.....	81
3.3.1.5.4	Kesişim Noktalarının Tanımlanması.....	81
3.3.1.6	Modelleme Ölçütleri.....	82
3.3.1.7	Yöntemin Test Edilmesi.....	83
3.3.2	3B Modelleme ve Veri Üretim Sihirbazı.....	85
3.3.2.1	Proje Bilgilerinin Girilmesi.....	86
3.3.2.2	Görüntü Rektifikasyonu.....	87
3.3.2.3	Üç Boyutlu Bina Modelinin Elde Edilmesi.....	87
3.3.2.4	Üç Boyutlu Ağ Modelinin Elde Edilmesi.....	90
3.3.2.4.1	Koridorun Elde Edilmesi.....	90
3.3.2.4.2	Odaların Elde Edilmesi.....	92
3.3.2.4.3	Koridor ve Odaların Bütünleştirilmesi.....	93
3.3.3	Fiziksel Tasarım (Konumsal Veri Tabanı).....	94
3.3.4	En Düşük Maliyetli Yolların Hesaplanması ve Veri Tabanına Kaydedilmesi.....	95
3.4	3B Ağ Analizi.....	96
3.5	Simülasyon.....	99
3.5.1	Yönlendirme Talimatlarının Belirlenmesi.....	100
3.6	Navigasyon.....	101

4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	108
	KAYNAKLAR.....	112
	EKLER.....	118
	ÖZGEÇMİŞ.....	122

## KISALTMA LİSTESİ

2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
ASP	Active Server Pages
Bkz.	Bakınız
CAD	Computer Aided Drafting
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DML	Data Manipulation Language
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
IP	Internet Protocol
MUSCLE	Multidirectional Scanning for Line Extraction
OGC	Open Geospatial Consortium
PDA	Personal Aigital Assistants
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SVG	Scalable Vectore Graphics
TIN	Triangulated Irregular Networks
TSP	Travelling Salesman Problem
VRML	Virtual Reality Markup Language.
VTYS	Veri Tabanı Yönetim Sistemi
WAP	Wireless Application Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
X3D	Extensible 3D

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Endonezya'daki Grasberg altın ve bakır madeninin 3B modeli [9].....	1
Şekil 1.2 3B Tampon bölge analizi .....	5
Şekil 1.3 2,5B CBS uygulaması: Sayısal arazi modeli ve binalar [10] .....	6
Şekil 1.4 Mevcut Tahliye Sistemlerinin Bileşenleri (Pu ve Zlatanova, 2005) .....	13
Şekil 1.5 Yangın sırasında ışıklı uyarılarda meydana gelen görüş zorluğu.....	13
Şekil 1.6 İdeal bir tahliye sisteminin bileşenleri (Pu ve Zlatanova, 2005; Karaş ve Batuk, 2007).....	15
Şekil 1.7 2,5B TIN verisinin üretilmesi (Pilouk,1996) .....	17
Şekil 1.8 Zlatanova (2000) tarafından geliştirilen web tabanlı 3B sorgulamalar .....	18
Şekil 1.9 Zlatanova (2000)'nın tanımladığı 19 farklı ilişki .....	18
Şekil 1.10 Abdul-Rahman (2000) tarafından geliştirilen model .....	19
Şekil 1.11 Lee (2001) tarafından geliştirilen "Medial Axis Transformation" adlı yöntem. (a) Voronoi çizelgesine göre bölünmüş poligon, (b) Medial Axis Transformation	20
Şekil 2.1 En yakın mesafeye bağlı olarak karar vermek. ....	24
Şekil 2.2 Çıkış ve hedef noktası arasındaki en kısa mesafe [5].....	26
Şekil 2.3 Belirli bir sokağın ulaşımına açık yada kapalı oluşuna bağlı olarak optimum yol analizi [5].....	27
Şekil 2.4 Yakınlık Analizi ile olay yerine en yakın olan hastanenin belirlenmesi [3] .....	28
Şekil 2.5 Adres eşleştirme [6] .....	29
Şekil 2.6 En kısa dağıtım güzergahının belirlenmesi [7].....	30
Şekil 2.7 Etki Alanlarının belirlenmesi [5].....	31
Şekil 2.8 Verilen bölgeler için kentteki itfaiye birimi kurulacak merkezlerin belirlenmesi (Yıldırım, 2003).....	32
Şekil 2.9 Topolojik olarak eşdeğer şekiller .....	34
Şekil 2.10 Topolojik dönüşüm .....	35
Şekil 2.11 Topolojik dönüşümde lineer sıralama .....	35
Şekil 2.12 Topolojik dönüşümde dairesel sıralama.....	35
Şekil 2.13 Metro duraklarının topolojik yaklaşımla gösterimi.....	36
Şekil 2.14 İmar adası .....	36
Şekil 2.15 Şehirler arası yol ağı.....	38
Şekil 2.16 Alanlar, hatlar, düğümler, çizgiler ve noktalar.....	39
Şekil 2.17 Vektörel veri yapıları .....	43
Şekil 2.18 (a) Königsberg'in yedi köprüsü (Theobald, 2001), (b) Graf gösterimi.....	46
Şekil 2.19 Objeler ve aralarındaki ilişkiler.....	47
Şekil 2.20 Aynı grafın farklı gösterimi.....	47
Şekil 2.21 Birbiriyle eşdeğer graflar (Küçükçifçi vd., 2003).....	47
Şekil 2.22 Grafın derecesi .....	48
Şekil 2.23 Çoklu graf.....	48
Şekil 2.24 Düzlemsel graf (Küçükçifçi vd., 2003).....	49
Şekil 2.25 Üç boyutlu graf.....	49
Şekil 2.26 Maliyetli graf.....	50
Şekil 2.27 Yönlü graf .....	50
Şekil 2.28 Tamamlanmış graf.....	51
Şekil 2.29 Ağaç .....	51
Şekil 2.30 Euler yolu içeren bir graf.....	52
Şekil 2.31 Hamilton turu .....	52
Şekil 2.32 Almanya'daki 15112 şehir için Hamilton turu [8] .....	53
Şekil 2.33 On beş düğümden oluşan bir maliyetli graf .....	54

Şekil 2.34 Çember içindeki en küçük değer B düğümüne ait .....	54
Şekil 2.35 En küçük değere sahip olan düğüm K.....	55
Şekil 2.36 Ok ile işaretlenen düğüm en küçük değere sahip olan C. ....	55
Şekil 2.37 En küçük değer 42 ile L düğümü. ....	56
Şekil 2.38 L düğümünden gelen bağlantı M düğümünün önceki değerini iptal eder.....	56
Şekil 2.39 Ok ile işaretlenmemiş çemberler içerisinde en düşük değer M düğümüne ait.....	57
Şekil 2.40 N düğümü en küçük değere sahip. ....	57
Şekil 2.41 O düğümü daha küçük bir değer aldığı için yeniden düzenlenir.....	58
Şekil 2.42 I düğümünün değeri yenilenir ve en küçük değer olan O düğümü işaretlenir. ....	58
Şekil 2.43 En küçük değere sahip düğüm I düğümü. ....	59
Şekil 2.44 H düğümü 88 değerini alırken, en küçük değere sahip olan F düğümü işaretlenir. ....	59
Şekil 2.45 En düşük değerli düğüm olduğu için E düğümü işaretlenir. ....	60
Şekil 2.46 Kalan düğümlerden en düşük değerlisi olduğu için E düğümü işaretlenir.....	60
Şekil 2.47 G düğümünün değeri yenilenir ve en küçük değere sahip olduğu için işaretlenir. ....	61
Şekil 2.48 Elde edilen en az dallanan ağaç.....	61
Şekil 2.49 Yedi düğümlü bir maliyetli graf (Chou, 1997) .....	62
Şekil 2.50 Farklı kök düğümü seçimine bağlı olarak oluşan maliyetler (a) D düğümü seçildiğinde (b) G düğümü seçildiğinde (Chou, 1997).....	62
Şekil 2.51 Şehirleri ve arasındaki yolları temsil eden yönlü ve maliyetli bir graf. ....	63
Şekil 2.52 En az dallanan ağaç. ....	64
Şekil 2.53 A şehrinden J şehrine giden en kısa yol. ....	64
Şekil 3.1 Kavramsal Tasarım.....	65
Şekil 3.2 Topolojik Ağ Modeli (Geometri yok).....	66
Şekil 3.3 Geometrik Ağ Modeli (Topoloji + Geometri).....	67
Şekil 3.4 3B Bina Modeli .....	67
Şekil 3.5 Sistem Mimarisi .....	68
Şekil 3.6 Modellenmek üzere raster formatındaki kat planının seçilmesi.....	69
Şekil 3.7 Modellenmiş bir projenin açılması.....	69
Şekil 3.8 Çizgi inceltme işlemi.....	71
Şekil 3.9 Vektör azaltma işlemi.....	71
Şekil 3.10 Görüntünün eşikleme işlemi ile ikili veriye dönüştürülmesi .....	72
Şekil 3.11 (a) Bölgeler (b) Düşeye yakın doğrular (c) Yataya yakın doğrular .....	73
Şekil 3.12 Yatay ve düşey tarama ile kırmızı piksellerin belirlenmesi .....	74
Şekil 3.13 Yatay ve düşey tarama ile vektör verinin elde edilmesi.....	75
Şekil 3.14 a) Yatay tarama sonucu elde edilen kırmızı pikseller b) Düşey Tarama sonucu elde edilen kırmızı pikseller ve gerçekleştirilen hatalı vektörizasyon .....	76
Şekil 3.15 AB Doğrusu.....	77
Şekil 3.16 Çapraz taramalarla hatalı doğruların elde edilmesi.....	78
Şekil 3.17 Doğru parçalarının uç noktalarının bir araya getirilmesi .....	79
Şekil 3.18 $d_1 + d_2 = d$ ve $d_2 < p$ ise C noktası sarkan noktadır .....	80
Şekil 3.19 $d_1 + d_2 > d$ ve $d_2 < p$ ise C noktası erişmeyen noktadır .....	81
Şekil 3.20 $d_1 + d_2 = d$ , $d_2 > p$ ve $d_1 > p$ ise K noktası yeni noktadır.....	82
Şekil 3.21 Test görüntüsü 1 .....	83
Şekil 3.22 Test görüntüsü 2 .....	84
Şekil 3.23 Test görüntüsü 3 .....	84
Şekil 3.24 3B Modelleme ve Veri Üretim Sihirbazı .....	86
Şekil 3.25 Proje Bilgilerinin Girilmesi.....	86
Şekil 3.26 Görüntü Rektifikasyonu .....	87
Şekil 3.27 3B Bina Modeli için modelleme kriterlerinin girilmesi .....	88
Şekil 3.28 MUSCLE Model ile kat planının vektörizasyonu.....	88
Şekil 3.29 Vektörizasyon sonucu elde edilen 2B kat planı. ....	89



Şekil 3.30 Proje bilgilerine bağlı vektör verinin kat sayısınca çoğaltılması .....	89
Şekil 3.31 3B Bina modeli.....	90
Şekil 3.32 Kullanıcı tarafından koridorun yerinin gösterilmesiyle koridorun renklendirilmesi	91
Şekil 3.33 MUSCLE Model ile koridor orta çizgilerinin belirlenmesi. ....	91
Şekil 3.34 Koridorun graf yapısındaki 2B modeli.....	91
Şekil 3.35 Koridorun çıkartılması ve odaların yalnız bırakılması.....	92
Şekil 3.36 MUSCLE Model ile elde edilen oda düğümlerinin koridor modeli ile birleştirilmesi. ....	92
Şekil 3.37 3B Ağ Modelinin otomatik olarak üretilmesi. ....	93
Şekil 3.38 Konumsal veri tabanında bina modeli.....	94
Şekil 3.39 Konumsal veri tabanında ağ modeli.....	95
Şekil 3.40 44 numaralı düğüm için en az dallanan ağacın konumsal veri tabanında gösterimi	96
Şekil 3.41 3B Bina ve Ağ Modeli .....	97
Şekil 3.42 İki nokta arasındaki en kısa mesafe.....	97
Şekil 3.43 İki nokta arasındaki en kısa mesafe.....	98
Şekil 3.44 3B Ağ Modeli.....	98
Şekil 3.45 Sesli ve görüntülü simülasyon.....	100
Şekil 3.46 Yönlendirme talimatlarının belirlenmesi .....	101
Şekil 3.47 Navigasyon modülünün sistem mimarisi .....	104
Şekil 3.48 Mobil cihazlarla kişi navigasyonun sağlanması.....	105
Şekil 3.49 Navigasyon sisteminin test edilmesi .....	105
Şekil 3.50 YTÜ A ve B blokların mimari kat planı .....	106
Şekil 3.51 YTÜ A ve B bloklarının modellemeye uygunlaştırılmış kat planları. ....	106
Şekil 3.52 YTÜ A ve B bloklar için 3B Bina ve Ağ Modeli da gerçekleştirilen navigasyon uygulaması.....	107

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Koordinatlar .....	36
Çizelge 2.2 Hatlar .....	36
Çizelge 2.3 Alanlar .....	37
Çizelge 2.4 Koordinatlar .....	39
Çizelge 2.5 Çizgiler .....	39
Çizelge 2.6 Hat-Düğüm Topolojik veri yapısı .....	40
Çizelge 2.7 Poligon-Hat Topolojik veri yapısı .....	40
Çizelge 2.8 Sol-Sağ topolojik veri yapısı .....	40
Çizelge 2.9 Çizgi temizleme işlemi ile topolojik hataların giderilmesi (Bildirici, 2003) .....	45
Çizelge 3.1 Mantıksal Tasarım .....	66
Çizelge 3.2 Test sonuçları .....	85
Çizelge 3.3 Kapalı alanlara yönelik konum belirleme teknolojileri. [11, 12] .....	103

## ÖNSÖZ

Kendisine çok fazla açılmasam da, çok fazla konuşmasak da, babamın güvenini hep üstümde hissederdim. Yüksek lisansa başlayarak akademik hayata niyetlendiğimde, uzun ve zahmetli bir süreç olduğunu bildiği için olsa gerek, pek de coşkuyla karşılamamıştı. Fakat altından kalkabileceğimi düşündüğünden sanırım, gözlerindeki o güveni yine fark etmiştim.

Aslında yakınında olmamızı isteyen, fakat bunca senedir gurbet ellerde oluşumuza hep sabreden sevgili annem de aynı şekilde. Güvenini, sevgisini, duasını hiç eksik etmedi üstümüzden. Sonunun iyi olacağı ümidiyle hep destekledi, hep moral verdi.

Babam bugün hayatta olsaydı eğer, gurur duyardı ve yine aynı güvenle bana bakardı eminim.

Bugün bu duygularla son cümlelerini yazdığım tezimi, emekleriyle bugünlere ulaşmama sebep olan kıymetli büyüklerim, sevgili annem ve rahmetli babama ithaf etmek istiyorum ve sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Her zaman arkamda oldular. En büyük katkı onların.

Tez konusunun seçiminden, sonuçlandırılmasına kadar her aşamada beni cesaretlendiren ve teşvik eden, çalışmamın yürütücüsü Sayın Hocam Doç. Dr. Fatmagül Batuk daima yapıcı ve yol gösterici oldu. Gece gündüz demeden her an destekledi, en ince ayrıntısına kadar tezimle ilgilendi, çalışmalarımın yayına dönüşmesi için yoğun emek sarf etti. Kendilerine saygı ve teşekkürlerimi özellikle belirtmek istiyorum.

Belirli dönemlerde bir araya geldiğimiz, tez izleme jürisindeki Sayın Hocalarım Prof. Dr. Zübeyde Alkış ve Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker'e de teşekkür etmeliyim. Ciddi ve yapıcı eleştirileriyle beni yönlendirdiler ve olumlu katkılarda bulundular.

Bu tezin ortaya çıkmasında katkısı olan başka isimler de var elbette. Tecrübe ve olgunluğuyla her zaman bana destek olan hocam Prof. Dr. İbrahim Baz'ı, motivasyon ve heyecan kaynağı Y. Doç. Dr. Bülent Bayram'ı, idealist ve disiplinli yapısına hayran olduğum Y. Doç. Dr. Abdullah Akay'ı ve manevi desteğini hep arkamda hissettiğim biricik kardeşim İbrahim R. Karas'ı özellikle anmalıyım. Çalışmam süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi ve Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'ndeki tüm hocalarım ve araştırma görevlisi arkadaşlarımı da.

Son olarak ailem. Sevgili eşim Nazan zor anlarımda hep yanımda oldu ve ümit verdi. Bilgisayar başında geçirdiğim gergin saatler boyunca bana katlandı ve rahat çalışmam için elinden geleni yaptı. Kendisine çok şey borçluyum.

Neşe ve enerjileriyle beni hep motive eden canım oğlum Yusuf Kenan ve canım kızım Süeda, sizi biraz ihmal ettim, biliyorum. Babanız teziyle meşguldü, biraz stresliydi. Ama bundan sonra sizinle daha çok oynayacak emin olabilirsiniz.

Hepinize sonsuz teşekkürler.

İsmail Rakıp Karas  
İstanbul, Ekim 2007

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, başlıca konumsal objelerden olan ve üçüncü boyutunun da hesaba katılması gereken binaların, iç mekânlarına yönelik olarak bir kavramsal model tasarlanması ve bu modele uygun olarak, ağ analizleri anlamında konumsal analizlerin etkin bir şekilde yapılabileceği bir 3B CBS uygulaması geliştirilmesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen uygulama ile 3B ağ uygulamalarının matematiksel ve model altyapısı ortaya konulmuş, analiz tabanlı ve fonksiyonel bir 3B CBS prototipi üretilmiştir. Söz konusu prototip otomatik veri üretimi, ağ analizi, simülasyon ve navigasyon olmak üzere dört farklı bileşenden oluşmaktadır.

Otomatik veri üretimi için MUSCLE (Multidirectional Scanning for Line Extraction) Model adı verilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Söz konusu yöntem, kat planından üç boyutlu Bina ve Ağ modellerinin hızlı, etkin ve otomatik bir şekilde elde edilmesini sağlamakla birlikte, esasen raster verilerin vektörizasyonu gibi daha büyük uygulamalarda da kullanılabilir bir sayısal görüntü işleme algoritmasıdır.

Ağ Analizi modülü, görüntüleme ve analiz olmak üzere iki farklı fonksiyona sahiptir ve kullanıcıların iki nokta arasındaki en kısa yolu analiz etmelerine ve görselleştirmelerine imkan sağlamaktadır. Söz konusu uygulama ile 3B mekanlarda ihtiyaç duyulan en önemli konumsal analizlerden biri olan ağ analizinin etkin bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Simülasyon modülü kişilerin navigasyon aşamasındaki hareketlerini modellemek üzere geliştirilen bir uygulamadır. Söz konusu uygulamada bina içinde ilerleyen kişinin, sanki gerçekmiş gibi sesli ve görüntülü olarak yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Navigasyon modülünde kullanıcı etkileşimli bir konum belirleme yöntemi kullanılmış ve iç mekânlardaki kişilerin sorunsuz bir şekilde hedeflerine ulaşabilecekleri ortaya konulmuştur. Bina içi yönlendirme, acil durumlarda tahliye gibi konuma bağlı her türden hizmetin verilmesi söz konusu sistemin kullanım alanları olarak kendini göstermektedir.

Tez dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde üç boyutlu bir CBS kavramı üzerinde durulmuş, böyle bir sistemin gerçekleştirilmesinin önündeki zorluklar belirtilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesine sebep olan problem tanımlanmış, tezin amacı ortaya konulmuştur. Ardından tezin kapsamı belirtilmiş ve iç mekânlar için acil durum yönetimi, navigasyon ve adres bulma, güvenlik ve hizmetlerin organizasyonu gibi kullanım alanları detaylandırılmıştır. Son olarak bugüne kadar yapılan çalışmalar incelenmiş ve çalışmanın metodolojisi ortaya konulmuştur.

İkinci bölümde ayrıntılı olarak üç boyutlu ağ analizinin temelleri üzerinde durulmuştur. Ağ analizinin çeşitleri açıklanmış, CBS açısından topoloji kavramı incelenmiştir. Ağ analizlerinin matematiksel temelini oluşturan Graf Teorisine geniş bir şekilde yer ayrılmış, en uygun yol analizleri ayrıntılı örneklerle açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise tez kapsamında geliştirilen ve yukarıda özetlenen uygulamanın, kavramsal ve mantıksal tasarımı açıklanmış, matematiksel altyapısı ve algoritmik temelleri tüm yönleriyle detaylandırılmıştır.

Dördüncü bölüm çalışmanın sonuçlarını ve önerileri içermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemi (CBS), 3B CBS, otomatik obje tanıma, ağ analizi, topoloji, simülasyon, navigasyon

## ABSTRACT

In this study, it is aimed that to design a conceptual model and develop a 3D GIS application for indoors which can be performed efficient network analysis. A functional and analysis based GIS prototype was implemented based on modeling fundamentals and mathematical infrastructure of 3D network analysis applications. The system consists of four components; Automatic Data Generation, Network Analysis, Simulation, and Navigation.

A new method, MUSCLE (Multidirectional Scanning for Line Extraction) Model was developed for Automatic Data Generation. By using this method, it is possible to efficiently and automatically generate 3D Building and Network Models based on the floor plans of the building. Therefore, the method is basically an image processing method and can be used for automatic vectorization of raster images in general.

Network Analysis component has two functions; analysis and visualization. By using analysis function, the users can select two entities in the building and optimum path between them is calculated. By using visualization function, it is possible to view and navigate the 3D Models and optimum path on the screen. In this application, it was indicated that the 3D network analysis -which is the one of the most important analysis for indoors- can be performed efficiently.

Simulation component was developed for modeling the movements of a person in the building. In this application, navigation of the person is simulated as audible and visual.

In the navigation component, by using a user interactive positioning method, it was indicated that a person can be reached his target without any problem. The areas such as evacuation and address finding, etc. are the subjects of this kind of applications.

The thesis consists of four sections.

In the first section, the 3D GIS concept is explained and the difficulties in realizing 3D GIS or 3D geo-spatial systems are evaluated. The problem and the aim of thesis are defined. Then, the scope is revealed and subjects of the thesis such as emergency services, transportation, security, visitor guiding, service organization etc. are detailed. The overview and methodology are also the part of the first section.

In the second section, the fundamentals of the 3D Network Analysis are investigated. Types of the network analysis and topology concept are explained. Mathematical infrastructure of the network analysis, Graph Theory, is described on a vast scale. Shortest path algorithms are presented using detailed examples.

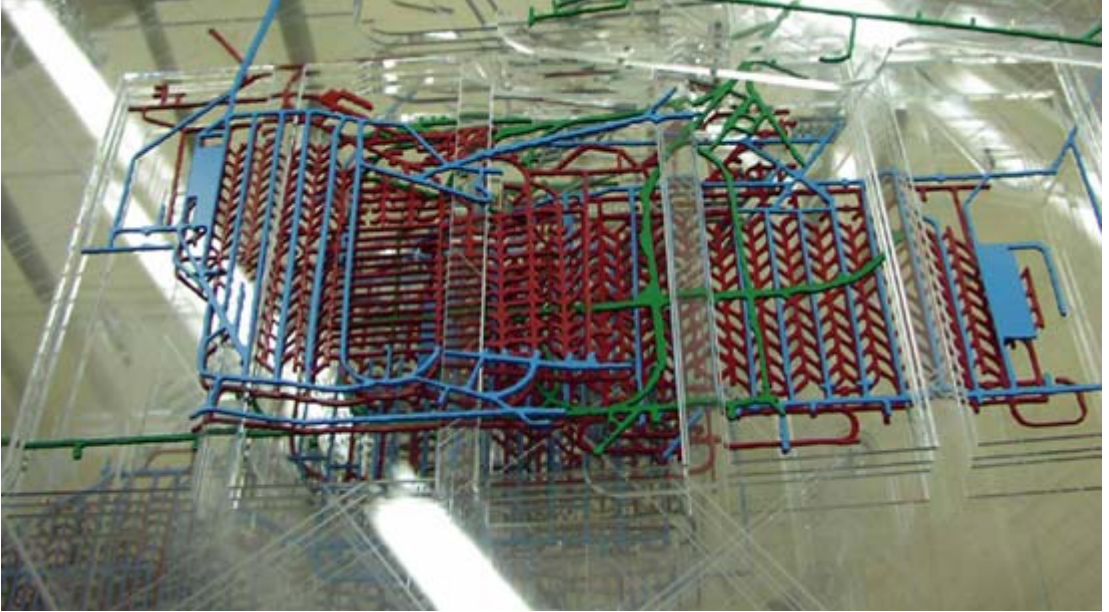
In the third section, developed system is introduced. Conceptual and logical design processes explained. Mathematical and algorithmic fundamentals of the system are described in detail.

The fourth section includes the results and suggestions.

**Keywords:** Geographic information system (GIS), 3D GIS, automatic feature extraction, network analysis, topology, simulation, navigation

## 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasının iç içe geçmiş problemlerinin çözümünde, mevcut CBS uygulamalarından daha fazlasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yerüstü ve yeraltındaki üç boyutlu (3B) konumsal objeler, halihazırdaki sistemlerin sağladığı olanaklardan çok daha karmaşık çözümleri gerektirmektedir. Üçüncü boyutları (yükseklik/derinlik bilgileri) nedeniyle, özellikle çok katlı binalar, maden, tünel ve çok katlı kavşaklar gibi mekanlar için, konumsal ve mantıksal analizlerin etkin bir şekilde yapılması ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır (Şekil 1.1). Doğal ve yapay afetler için hızlı ve etkili çözümler üretmek amacıyla tasarlanan afet bilgi sistemleri bünyesinde, gökdelenler, madenler ve metro hatlarında meydana gelebilecek olaylar için söz konusu analizlerin gerekliliğine özellikle dikkat çekilmektedir (Kwan ve Lee, 2005; Pu ve Zlatanova, 2005). “İki Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (2B CBS)” çoğu alanda yeterli olurken, günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile gerçek dünyanın birebir modellenmesini gerektiren, çok daha etkin çözümlerin üretilmesi söz konusudur. Bu da “Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (3B CBS)” kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 1.1 Endonezya'daki Grasberg altın ve bakır madeninin 3B modeli [9]

### 1.1 3B CBS Kavramı

Yerüstü, yeraltı ve uzayda yer alan objeler günümüzdeki adı ile Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bilim alanında geliştirilen yöntemler ile ölçülmekte ve koordinat sistemlerini temel alan uygulamalarla haritalara, bilgisayar ekranına iz düşürülmektedir. Bu tür objeler bu

tez çalışmasında "konumsal/coğrafi objeler" olarak adlandırılacaktır. Bu verilerin koordinat ve geometri dışındaki özellikleri ise "öznitelik" olarak anılacaktır. Enlem-boylam, sağa-yukarı, x-y, şeklindeki koordinatları ile belirli olan objeler iki boyutlu, bunlara ilaveten yükseklik bilgileri de mevcut olan objeler ise üç boyutlu olarak bilgisayar ortamında depolanabilmektedir.

Harita üretici ve kullanıcıları, bu tür objelerin sadece bilgisayarda depolama ve gösterimiyle yetinmemiş, gelişen teknolojinin de etkisi ile veri gruplarının analiz edilmesi ve bir arada değerlendirilmesi tekniklerini de geliştirmişlerdir. Bu tekniklerin en başında ise CBS gelmektedir.

Konumsal verilerin ve özniteliklerinin toplanması, bilgisayar ortamında depolanması, kontrol edilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi, transferi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bilgi sistemleri, "Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)" olarak tanımlanmaktadır. (Yomralıoğlu, 2000; AGI GIS Dictionary, 1991; Burrough, 1998). Bu tanıma göre verilerin toplanması işlemi de CBS tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Ancak burada kastedilen daha çok kağıt altlıkların sayısallaştırılması veya nokta koordinatlarının bilgisayara aktarılması yoluyla gerçekleştirilen veri toplama yöntemleridir. Bununla birlikte diğer yöntemler ile toplanmış veriler de CBS ortamına kolaylıkla aktarılabilen ve düzenlenebilmektedir.

Buna göre bir CBS şu fonksiyonları gerçekleştirebilmelidir (Yomralıoğlu, 2000; Abdul-Rahman vd., 2001):

**Veri Entegrasyonu:** Konumsal ve öznitelik verilerinin elde edilmesi anlamında bir çok teknik ve araç mevcuttur. Konumsal veriyi elde etmede kullanılan araçlar manuel, yarı otomatik yada tam otomatik, sonuç ürünler ise raster yada vektör veri olabilir. CBS, farklı ortamlarda oluşturulan bu türden sayısal ve sözel verilerle entegre bir şekilde çalışma özelliğine sahiptir.

**Yapılandırma:** Konumsal veri tabanının oluşturulmasında CBS çok önemli bir yer tutar. Analiz ve manipülasyon gibi fonksiyonların başarısı, CBS'nin yapılandırma yeteneğine bağlıdır. Farklı sistemler farklı yapılandırma yeteneklerine sahip olabilirler. (Basit yada karmaşık topoloji, ilişkisel yada obje tabanlı bir veri tabanı gibi)

**Manipülasyon:** CBS ile güncelleme, ayıklama, ekleme, transfer vb manipülasyonlar çok hızlı ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu sayede mevcut bilgilerden yeni bilgiler üretilerek,

istenen formatta değişik sistemlere bilgi transferi yapılabilmektedir. Örneğin genelleştirme önemli manipölasyon işlemlerinden birisidir ve veri karmaşıklığını azaltmak, verinin daha okunaklı, anlaşılır ve açık olarak sunulması açısından önemlidir.

**Analiz:** Analiz fonksiyonu bir CBS'deki çekirdek işlemdir. Konumsal ve öznitelik verileri üzerindeki metrik, topolojik vb. işlem ve sorguları kapsar. Bir CBS'deki analiz işlemleri, bir yada birden fazla veri seti üzerinde yapılır ve bu işlemler yeni bir konumsal bilgi üretilmesini sağlar. Arazi analizi (görünürlük analizi), geometrik hesaplamalar (hacim, alan vs), kesişme, tampon bölge, birleştirme, sıralama tipik analiz fonksiyonlarından bazılarıdır.

**Karar Destek:** Temel istatistik analizlerine ilave olarak, mevcut verilerden yararlanarak ileriye dönük tahminlerin yapılması, yatırım amaçlı mekanların tespit edilmesi, planlama için gerekli donatıların en uygun alanlara yerleştirilmesi, verilerin istatistiksel olarak irdelenmesi, yöneylem analizleri, zamana göre konum özelliklerindeki değişimlerin izlenmesi gibi, neden ve niçin sorularına cevap aranacak nitelikteki karar verme analizleri, CBS ile çok daha dinamik olmaktadır.

**Model analizleri:** Planlanan bazı projelerin veya doğal olayların gerçekleşmesi halinde meydana gelecek durumun daha önceden gerçekleşmiş gibi gözlenebilmesi işlemleri simölasyon olarak bilinir. CBS, coğrafi varlıkların çevreleriyle olan ilişkilerini de dikkate alarak bilgisayar ortamında oluşturulacak gerçek modellerle simölasyon işlemlerini gerçekleştirme imkanına sahiptir. Böylece tasarlanan proje sanki gerçekmiş gibi belli bir ölçek dahilinde küçültülerek yönetici veya uzmanlara üzerinde çalıştıkları özel proje hakkında uygulama öncesi detaylı bilgi sağlamış olacaktır.

**Sunum:** Bir CBS'deki son aşama üretilen bilgi ve sonuçların harita, grafik, tablo ve raporlar şeklinde kullanıcıya sunulmasıdır.

3B dünyadaki gerçek objelere yönelik olarak, bir CBS'den beklenen tüm bu fonksiyonları gerçekleştirebilecek düzeydeki sistemler 3B CBS olarak adlandırılmaktadır ve 3B CBS'nin bazı uygulama alanları şu şekildedir (Förstner,1995; Bonham-Carter, 1996; Pilouk, 1996; Abdul-Rahman, 2000; Stoter ve Ploeger, 2003):

- 3B kent haritalarının yapımı ve planlama,
- Peyzaj planları,
- Mimari,



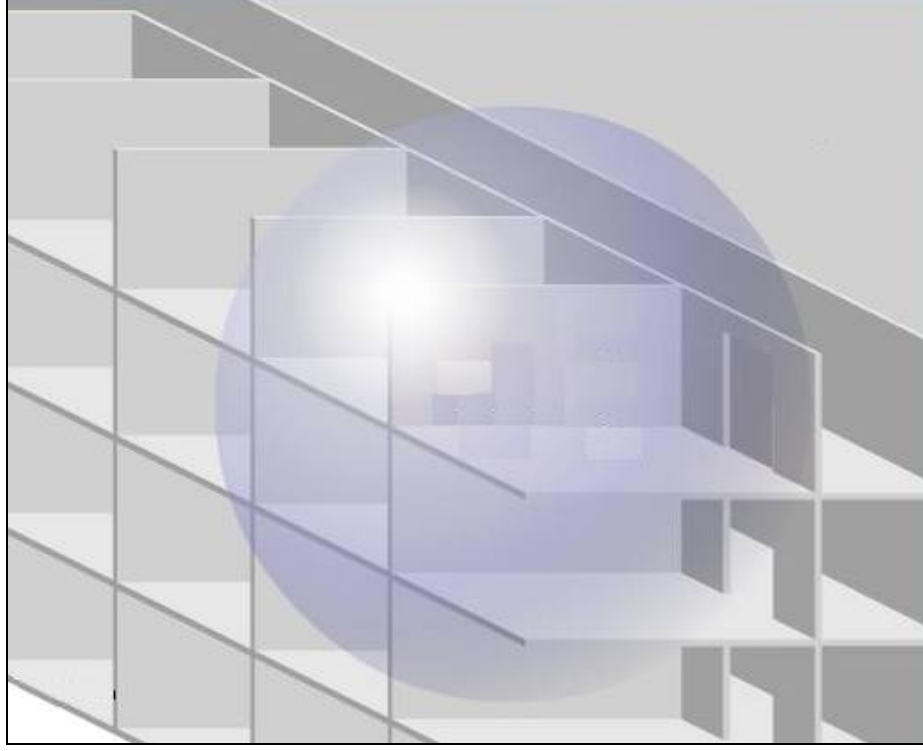
- Navigasyon sistemleri,
- İnşaat mühendisliği,
- Maden tetkik,
- Hidrografik ölçmeler,
- Ekolojik çalışmalar,
- Çevresel gözlemler,
- Jeolojik analizler,
- Arkeoloji,
- Deniz biyolojisi vb.
- İletişim altyapısı
- Acil Durum Yönetimi
- Emlak sektörü

### **1.1.1 3B CBS Gerçekleştiriminin Önündeki Zorluklar**

Bugün yaygın olarak kullanılan CBS yazılımları, 2B verinin yönetimi anlamında yukarıda sayılan fonksiyonları gerçekleştirebilmektedirler. Fakat böyle bir sistemden, ileri düzeyde 3B uygulamalar talep edildiğinde ise başarısız olmaktadır (Raper ve Kelk, 1991; Rongxing Li, 1994; Stoter ve Zlatanova, 2003). Bu türden bir uygulama için yakınlık analizi iyi bir örnektir.

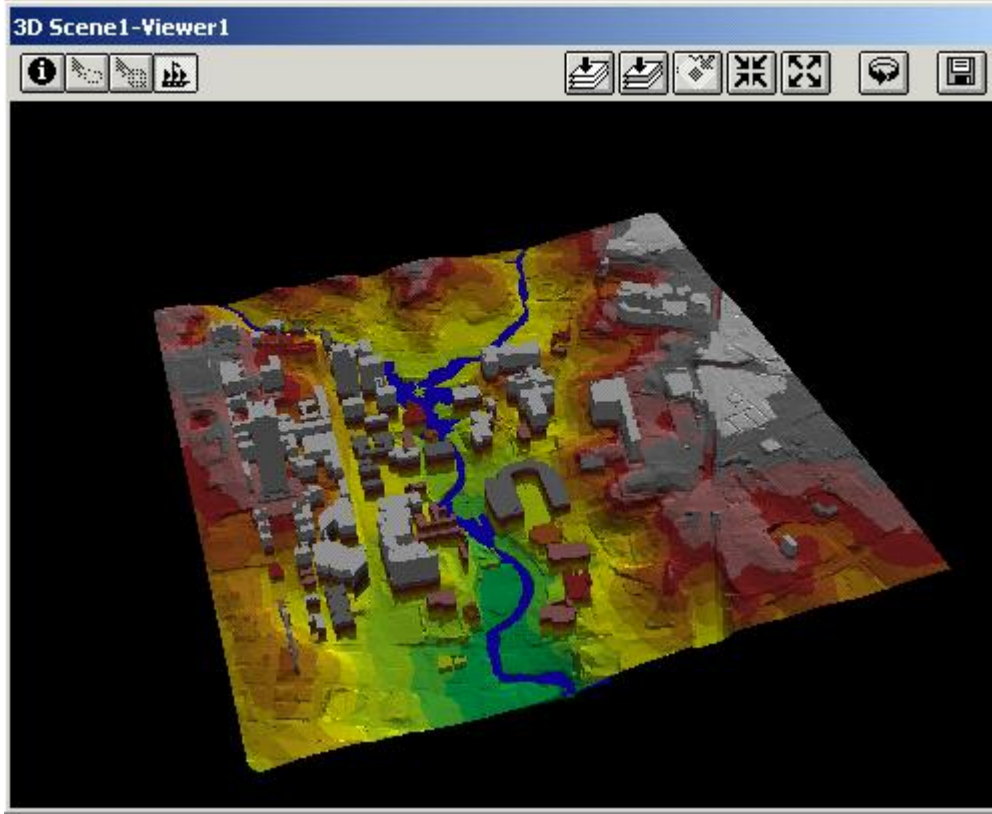
Yakınlık analizi, bir GSM verici istasyonunun 10 km. yarıçapındaki etki alanına giren yerleşim merkezlerinin belirlenmesi örneğinde olduğu gibi, herhangi bir coğrafi detayın çevresindeki diğer detaylara olan uzaklıklarının irdelenmesini esas alan bir konumsal analizdir. Tampon analizi (buffer analysis) olarak da bilinen söz konusu işlemde, referans olarak kabul edilen bir detay etrafında, istenen uzaklıkta, poligon özelliği taşıyan bir tampon bölge oluşturulur ve bu bölgeye rastlayan diğer coğrafi detaylar isteğe bağlı olarak sorgulanırlar (Yomralıoğlu, 2000). Klasik CBS işlemlerinden biri olan bu analiz, uzaklıkların bir düzlem üzerinde araştırılması açısından iki boyutlu bir analizdir. Fakat, benzer şekilde üç boyutlu bir analiz yapılmak istendiğinde, örneğin büyük bir bina içindeki belirli bir noktayı

çevreleyen, 50 m. yarıçaplı bir kürenin oluşturduğu tampon bölgenin içinde kalan odalar belirlenmek istendiğinde, doğal olarak mevcut CBS yazılımları ile bu işlem gerçekleştirilemeyecektir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 3B Tampon bölge analizi

Bu gibi uygulamalara olan ihtiyaç 3B CBS kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. İdeal anlamda bir 3B CBS, 3B objelerle ilgili olarak yukarıda sayılan tüm fonksiyonları sağlayabilmelidir (Worboys, 1995; Stoter ve Zlatanova, 2003). Bölüm 1.5'te de ayrıntılarıyla belirtildiği üzere, bu türden 3B sistemlerin geliştirilmesi yönünde, CBS sektörü ve araştırmacılar tarafından bugüne kadar bir çok çalışma yapılmıştır ve bu yöndeki çabalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda görselleştirme ağırlıklı üç boyutlu uygulamalardan kimi zaman 3B CBS olarak bahsedildiği görülmektedir. Özellikle sayısal arazi modeli (SAM) üzerinde gerçekleştirilen CBS uygulamalarında bu duruma sıkça rastlanmaktadır (Şekil 1.3). Oysa bu yanlış bir tanımlamadır. 3B CBS, 2B bir sisteme, basitçe üçüncü bir boyutun ilave edilmiş olmasından ibaret değildir. Bu tür sistemler ancak 2,5 boyutlu CBS olarak adlandırılabilirler (Abdul-Rahman, 2006a). Dolayısı ile gerçek 3B CBS, üç boyutlu modellerle görselleştirilmiş uygulamaların ötesinde çok daha ileri fonksiyonlara ihtiyaç duyar. Konumsal veri yapıları, veri modelleri, topolojik ilişkiler gibi henüz tam olarak çözülememiş bir çok sorundan dolayı istenilen düzeyde bir 3B sisteme hala ulaşılabilmemiş değildir.



Şekil 1.3 2,5B CBS uygulaması: Sayısal arazi modeli ve binalar [10]

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, 3B CBS için üretilen çözümler açısından gelinen noktadaki başarı oranları şu şekildedir: (Abdul-Rahman, 2006b)

- 3B verilerin elde edilmesi; %50
- 3B veri yönetimi; %50
- 3B veri analizi; %10
- 3B görselleştirme; %90
- 3B birlikte işlerlik (interoperability) ; %40

Görüldüğü gibi görselleştirme açısından büyük ölçüde yol alınmış olmasına rağmen, veri analizlerinin gerçekleştirilmesindeki başarı oranı tam tersine henüz %10'lar düzeyindedir ve henüz çözülmesi gereken bir çok problem vardır. Bu açıdan gerçek bir 3B CBS geliştirmenin önündeki zorluklar şu şekilde sıralanabilir (Abdul-Rahman vd., 2001):

- **Kavramsal Model:** Kavramsal model dünyadaki objelerin ve aralarındaki ilişkilerin açığa çıkarılması, dolayısı ile konumsal verilerin modellenmesi anlamında yöntemler sağlar. Kavramsal 3B model semantik, 3B geometri ve 3B konumsal ilişkilerin (3B

topoloji) oluşturduğu bir bütündür. Bu konuda bugüne kadar yapılan araştırmalarda bir çok 3B veri modeli önerilmiştir. (Brisson 1990, Molenaar 1992, Cambray 1993, Pilouk 1996, Pigot 1995, Zlatanova 2000, Abdul-Rahman 2000, Pfund 2001). Bununla birlikte konumsal objelerin tanımlanması ve gösterimi açısından her birinin zayıf ve güçlü yönleri mevcuttur.

- **3B verinin elde edilmesi ve depolanması:** 3B CBS’de, 2 boyutlu bir sisteme göre çok daha fazla veri söz konusudur. Dolayısı ile veri üretiminin maliyeti de aynı oranda yüksektir. Otomatik obje tanıma ve 3B veri yapılandırma yöntemleri giderek gelişmekte olsa da, veri elde etmede manuel yöntemlerin hakimiyeti hala büyük ölçüde devam etmektedir (Pu ve Zlatanova, 2005; Abdul-Rahman, 2007). Muhtelif kaynaklardan elde edilen verilerin derlenip bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilen model üretimi, otomatik veri elde etme teknikleri, verinin tutarlılığını sağlayan kural ve algoritmalar ve 3B topolojinin otomatik kurulmasına yönelik çalışmalar vb. literatürde sıkça tartışılan konular arasındadır.
- **Konumsal analizler:** Kapsama, komşuluk, eşitlik, yön, bağlantılılık gibi konumsal ilişkiler, CBS’de gerçekleştirilen işlemlerin büyük çoğunluğunun temelidir. Gerçek bir 3B CBS, iki boyutlu CBS’dekilere benzer olarak, metrik (mesafe, alan, hacim vb.), mantıksal (kesişim, birleşim, farklılık vb.), genelleştirme, tampon bölge ve ağ analizi gibi tüm konumsal analizleri gerçekleştirebilecek düzeyde olmalıdır. Bunlar arasında, metrik işlemler dışındakilerin çoğu konumsal ilişki bilgisini gerektirmektedir. Topolojik açıdan bu ilişkilerin (spatial relationships) belirlenmesi yönünde bir çok model önerilmiştir. (Pullar ve Egenhofer, 1988; Egenhofer ve Herring, 1992; Molenaar, 1998)
- **Görselleştirme, Navigasyon, Kullanıcı Ara Yüzü:** Yukarıda da belirtildiği gibi, 3B CBS’lerin gerçekleştirimi açısından en fazla başarı sağlanan alan görselleştirmedir. Bununla birlikte, bilişim teknolojilerindeki gelişmeler oldukça iyi düzeye gelmiş olsa da, 3B doku kaplanmış şehir modelleri, sanal gerçeklik uygulamaları, hareketli grafik efektleri, simülasyonlar ve gerçek zamanlı uygulamaların gerçekleştirilmesi açısından halen yüksek kapasiteli bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır (Kraak, 1998; Raper vd., 1998). Özellikle, 3B CBS’deki başlıca uygulama alanlarından olan, gerçek zamanlı navigasyon uygulamalarının taşınabilir cihazlarda çalıştırılması, hareketli şehir modellerinin görüntülenmesi ve işlenmesi yönündeki araştırmalar devam etmektedir. Bunun dışında yüksek veri iletişimi gerektiren bu tür uygulamalara yönelik olarak

kablosuz ağların geniş bant iletişim kapasitesine yükseltilmesi de bir başka araştırma konusudur.

- **İnternet erişimi:** 3B konumsal bilgiye uzaktan erişim, yeni araştırma alanlarından birisidir. 2B veriyle ilgili internet uygulamalarının (raster veya vektör) giderek artan bir potansiyeli zaten vardır (mapquest.com, mapguide.com, Google Earth, MSN Live Map, vb.). Son yıllarda 3B web uygulamalarında da giderek artan gelişmeler gözlenmektedir. VRML, DML, SVG gibi yeni dil ve veri formatları geliştirilmekte ve internet üzerinden 3B konumsal sorgulama ve görselleştirme için birçok yeni prototip üzerinde çalışılmaktadır (Virtual Earth vb.) (Coors vd., 1998; Lindenbeck vd, 1998, Tao, 2007).

## 1.2 Problemin Tanımı

Bölüm 1.1.1’de belirtildiği üzere günümüzün problemlerinin çözümünde iki boyutlu sistemler yetersiz kalmakta ve bir çok alanda 3B CBS uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte ideal anlamda 3B CBS’lerden bahsetmek için bir çok alanda çözülmeyi bekleyen altyapı sorunları mevcuttur. Bu alanlardan birisi de çok katlı ve karmaşık binalardaki 3B Ağ Analizleridir.

Günümüzde, 2B ağ analizi uygulamalarında büyük mesafe kaydedilmiş, ağ analizini temel alan bir çok teknoloji pratikte kullanılır hale gelmiştir. Ağ analizleri, şebeke yapısına sahip, birbiriyle birleşen coğrafi varlıkların bağlantı şekillerinden, karar vermeye yönelik sonuç çıkarmaya yarayan konum analizleridir.

2B ağ analizlerinin kullanıldığı alanlardan en başta geleni, günümüzün gelişmiş navigasyon sistemleridir. Navigasyon, insanların hayatı boyunca sık sık gerçekleştirdiği işlerin başında gelir ve günlük hayatın bir parçasıdır (Timpf vd., 1992). İnsanlar, yüzyıllar önce yön bulma ihtiyacı ile şekillenen navigasyon ihtiyacını, zamanla harita ve pusula gibi yöntemler kullanarak geliştirmişlerdir. Günümüzde ise navigasyon, gelişmekte olan konum belirleme ve iletişim tekniklerini, sayısal haritaları, bilgisayar ve avuç içi araç teknolojilerini kullanan, özel olarak tasarlanmış sistemler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir (Uluğtekin vd., 2004). Bu gelişmeler ile birlikte navigasyon, günlük hayatın parçası olan sıradan bir aktivite olmaktan çıkıp bir çok teknolojiyi içinde barındıran bir pazar haline gelmiştir (Doğru, 2004).

Son yıllarda yapılan çalışmalarla, özellikle Japonya, Avrupa ve Amerika’da, araç navigasyon sistemleri otomobil endüstrisinin önemli bileşenlerinden biri olmuştur (Uluğtekin vd., 2004).

Önceleri lüks otomobillere standart bileşen olarak eklenen bu sistemler, şimdilerde her sınıf otomobil için kullanılmaya başlanmıştır. 2002 itibarı ile Japonya’da 10, Avrupa’da ise 2 milyon araç navigasyon sistemi kullanılmaktadır ve her yıl tüm dünyada 2 milyon sistem kullanıma sunulmaktadır (Pekinken ve Rainio, 2002).

Gelinen noktada, böylesine büyük bir potansiyele sahip olan söz konusu sistemler kullanıcıların ihtiyaçlarına karşı yetersiz kalmaya başlamış, 2B uygulamalardan daha fazlası talep edilir olmuştur. Cep telefonu ve el bilgisayarı gibi mobil cihazların, yavaş yavaş araç içi navigasyon sistemlerinin yerini almasıyla birlikte, önümüzdeki yıllarda sadece 2B araç navigasyonu değil, bina içlerinde de çalışacak 3B kişi navigasyonu uygulamalarının ağırlık kazanması beklenmektedir.

Günümüzün modern şehirlerinde çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Onlarca kat, yüzlerce koridor, oda ve geçitlerden oluşan bu binalar, hem karmaşık yapıları, hem de barındırdıkları nüfus itibarı ile adeta birer küçük şehir gibidirler. Binaların büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlı olarak, sözü edilen 3B navigasyon uygulamaları ile birlikte, acil durumlara yönelik bina tahliye ve müdahale sistemleri, bina içi güvenlik ve hizmetlerin karşılanması gibi konular büyük önem kazanmakta, çözülmeyi bekleyen bir çok problem karşımıza çıkmaktadır. Özellikle 11 Eylül saldırılarının ardından, bu tür konulardaki araştırmalarda artış gözlenmektedir.

Bilimsel çalışmaların yanında, ileriki yıllarda yapılması muhtemel bazı yasal düzenlemeler de bu tür sistemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Örneğin, 2001 Ekiminde ABD Federal Komünikasyon Kurulu’nun yayınladığı bildiri ile, kablosuz servis sağlayıcılarına bir takım yükümlülükler getirilmiştir. Buna göre acil durumlarda cep telefonundan 911’i arayan kişi adresini bildiremese bile, GSM servis sağlayıcısının konum bilgisini anlık olarak 100 m. hassasiyetle ilgili birimlere (ambulans, polis, itfaiye vb.) ulaştırması zorunludur. (McGeough, 2003). Hassasiyet anlamında henüz belirli bir rakam belirtmemiş ve sadece “teknik olarak en iyi çözümün sağlanması” şeklinde yuvarlak bir tanımlama ile yetinmiş olsa da, yakın gelecekte Avrupa Birliği’nin de net bir ölçüt ortaya koyması beklenmektedir (Project Report, 2007). Teknolojideki imkanların artmasıyla birlikte, zamanla bu ölçütün çok daha küçük miktarlara düşeceği ve yardım isteyen kişi bir binanın içinde bile olsa, en kısa yoldan ulaşılabilecek şekilde konumunun 3B olarak isteneceği tahmin edilmektedir. Doğaldır ki, AB ile bütünleşme sürecindeki Türkiye de ileriki yıllarda bu yükümlülüklerden etkilenecektir.

Sonuç olarak, çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binalara yönelik 3B Ağ Analizi

uygulamalarıyla ilgili yapılacak bilimsel araştırmalar, bu türden sistemlerin temelini oluşturacak ve geleceğini belirleyecektir. Bu noktadan hareketle gerçekleştirilen söz konusu tez çalışması ile, bu araştırmalara bir katkıda bulunulması hedeflenmiş, 3B ağ analizi uygulamalarının matematiksel ve model altyapısı ortaya konularak otomatik veri üretimi ve navigasyon uygulamalarına yönelik yazılım altyapısı geliştirilmiştir.

### 1.3 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında, başlıca konumsal objelerden olan ve üçüncü boyutunun da hesaba katılması gereken binaların, iç mekânlarına yönelik olarak bir kavramsal model geliştirilmesi ve bu modele uygun bir 3B sistemin tasarlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, binadaki iki farklı birim arasındaki ulaşım problemini 3B topolojik ilişkilere dayanılarak çözümleyen bir CBS geliştirilecektir. Sistem kat planı görüntülerinden oda/ofis/daire, koridor, merdiven/asansör gibi objeleri vektör olarak üretmeli ve farklı düzlemlerdeki objeler için graf veri yapısını otomatik olarak çıkarmalıdır. Dijkstra algoritması kullanılarak mekanlar arası optimum geçiş güzergahları sağlanmalı, görsel unsurlar ve internet ile sistem desteklenmelidir.

Bu kapsamda gerçekleştirilmesi hedeflenen aşamalar şu şekildedir:

- Ağ analizi ve navigasyon uygulamalarına uygun bir kavramsal modelin geliştirilmesi,
- Geometrik ve topolojik bina modelinin otomatik olarak elde edilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirilmesi ve yazılım altyapısının oluşturulması,
- Konumsal veri tabanı tasarımı,
- Optimum güzergah sorgulamalarını yapmayı sağlayacak olan 3B Ağ Analizi uygulamasının geliştirilmesi,
- Navigasyon uygulamalarının bilgisayarda modellenmesini sağlayacak olan Simülasyon uygulamasının geliştirilmesi,
- Mobil cihazlar kullanılarak bina içi yönlendirmeyi sağlayacak olan web tabanlı Navigasyon uygulamasının geliştirilmesi,
- Sayılan tüm uygulamaların çok katlı ve karmaşık bir binada test edilmesi.

Bunlarla birlikte, söz konusu aşamaların kısıtlarının da belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre

çalışmanın çerçevesi şu şekilde çizilmiştir;

- Geliştirilecek sistem 3B Bina ve Ağ modellerinin otomatik olarak üretilmesini gerçekleştirecek yetenekte olmalıdır. Dolayısı ile bu tez kapsamında, sadece bütün katları aynı plana sahip olan binalara yönelik süreçler üzerinde çalışılmıştır. Her katı birbirinden farklı plana sahip binalar ise kapsam dışıdır.
- Kat planlarından vektör yapıdaki bina içi yol ağı otomatik olarak elde edilmekle birlikte, gerektiğinde modeller üzerindeki bir takım işlemler kullanıcı etkileşimli olarak gerçekleştirilebilecektir.
- En uygun yol hesaplamalarında Dijkstra algoritması kullanılmalıdır.
- 3B modellerin görselleştirilmesinde Bilgisayar Grafikleri Algoritmaları kullanılmalı, her hangi bir kütüphane yada eklentiden faydalanılmamalıdır.
- Bina içi gerçek zamanlı bir konum belirleme sisteminin geliştirilmesi farklı disiplinlerin alanına girdiğinden kapsam dışındadır. Tezdeki amaç, iç mekanlarda çalışacak bir navigasyon sisteminin geometrik altyapısını oluşturmaktır. Dolayısı ile kişinin bina içindeki konumunun belirlenmesini ve söz konusu geometrik altyapının test edilmesini sağlayacak olan etkileşimli bir yöntem yeterli olacaktır.

Söz konusu doktora çalışması ile 3B verilerin elde edilmesi, görselleştirme, verinin yönetimi ve analizi gibi 3B CBS işlemlerine bilimsel olarak katkıda bulunulması hedeflenmiştir. Sistem gereksinimlerinin matematik ve algoritmik yapısı çözümlenerek, gerektiğinde yeni algoritmalar geliştirilerek modüler bir yazılım geliştirilecektir. Uygulama konusu olarak çok katlı binaların modellenmesi ve 3B ağ analizlerinin değerlendirilmesi seçilmiştir.

#### 1.4 Çalışmanın Kapsamı

Tez kapsamında geliştirilmesi planlanan sistemin bir çok alanda kullanılması mümkün olmakla birlikte, başlıca kullanım alanları şunlardır:

- Acil durum yönetimi
- Bina İçi Navigasyon ve Adres Bulma
- Bina İçi Güvenlik
- Bina içi hizmetlerin organizasyonu



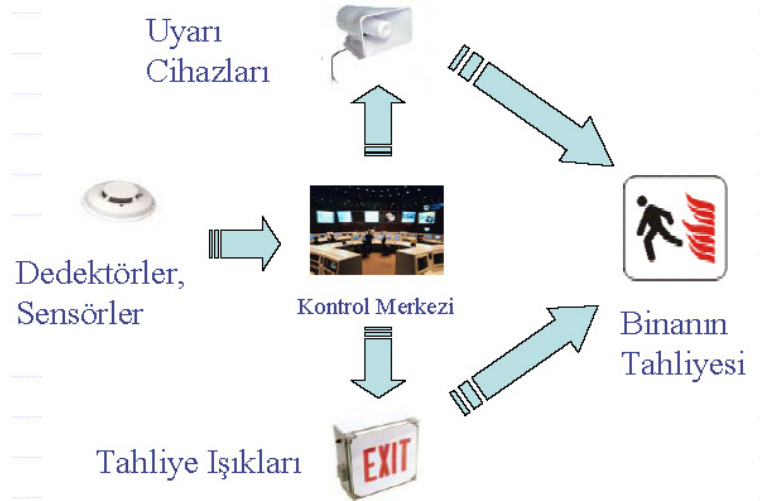
### 1.4.1 Acil durum yönetimi

Yangın, güç kesintisi, terörizm (patlamalar, bomba ihbarları, rehin alma olayları), kimyasal sızıntılar, deprem, su basması gibi olaylar, iç mekanlarda meydana gelebilecek yada etkileyebilecek olağanüstü durumlardan bazılarıdır (Stringfield, 1996). Bu türden felaketlerde en kısa sürede binanın tahliyesi büyük önem kazanmaktadır. Modern binaların karmaşıklığı ve içinde yaşayan insanların fazlalığı göz önüne alındığında böylesine hızlı bir tahliyenin çok zor olduğu ortadadır. Bu tür olaylarda panik, yığılma, birbirini çığneme, çıkışlara ulaşamama gibi durumların oluşması kaçınılmazdır gibidir. Bu yüzden bilgi tabanlı, dinamik, gerçek zamanlı etkileşimli tahliye stratejileri ve sistemlerinin oluşturulması büyük önem kazanmaktadır (Karaş ve Batuk, 2006). Bu kapsamda öncelikle mevcut tahliye sistemleri incelenecek, ardından ideal bir tahliye sisteminin nasıl olması gerektiği hakkında bilgi veren akıllı sistemler tanıtılacaktır.

#### 1.4.1.1 Mevcut Sistemler

Halihazırdaki sistemler genel olarak üç temel bileşenden oluşmaktadır (Galea vd., 1999) (Şekil 1.4):

- 1. Otomatik Algılama Sistemleri:** Duman, ısı ve radyasyona duyarlı algılayıcılar, alarm sistemleri ve diğer sistemlerin (örneğin yağmurlama) harekete geçmesini sağlarlar.
- 2. Alarm Sistemleri:** Sesli uyarıcılarla binadaki insanların uyarılmasıdır. Manuel çalışan sistemler olduğu gibi, acil durumlarda kontrol merkezi ile katlar arasındaki bağlantıyı sağlayan telefon, interkom gibi uyarı sistemleri de mevcuttur.
- 3. Uyarı lambaları:** Çıkış yönünü gösteren ışıklı göstergeler sayesinde binanın tahliyesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.4 Mevcut Tahliye Sistemlerinin Bileşenleri (Pu ve Zlatanova, 2005)

Tahliye planı, sesli alarm ve sesli yönlendirme, ışıklı uyarılar gibi öğeleriyle söz konusu mevcut sistemler günümüzün modern binaları için oldukça yetersiz kalmaktadırlar. Çünkü;

- Esneklikten yoksundurlar ve dinamik değildirler. Önceden tanımlanmış senaryolara göre hazırlanmışlardır. Olay anında ve sonrasında bina içinde ne olduğu bilgisine göre bir yönlendirme yeteneğine sahip değildirler. Örneğin kapanmış çıkışlar yada gaz kaçağı olan alanlara yönlendirmeye sebep olabilirler.
- Yeterince akıllı değildirler. Kontrol yetenekleri zayıf olduğu için yığılmalara, bina içi trafik yoğunluğuna, tahliye hızının yavaşlamasına, çıkışların tıkanmasına ve bu yüzden insanların zarar görmesine sebep olabilmektedirler.
- Yetersiz bilgi vermektedirler. Binayı yeterince tanımayan insanlar için tahliye uyarıları yeterince açıklayıcı olmamaktadır. Özellikle yangın ve elektrik kesintisi gibi durumlarda ortaya çıkan görüş zorluğu bu yönergelerin faydasını en aza indirmektedir (Şekil 1.5).

Dolayısı ile mevcut sistemler binanın yapısı hakkında geometrik bilgiden ve olay anındaki durumu gösteren dinamik bilgiden yoksundurlar ve esnek çözümler sunamamaktadırlar.



Şekil 1.5 Yangın sırasında ışıklı uyarılarda meydana gelen görüş zorluğu

### 1.4.1.2 Akıllı Sistemler

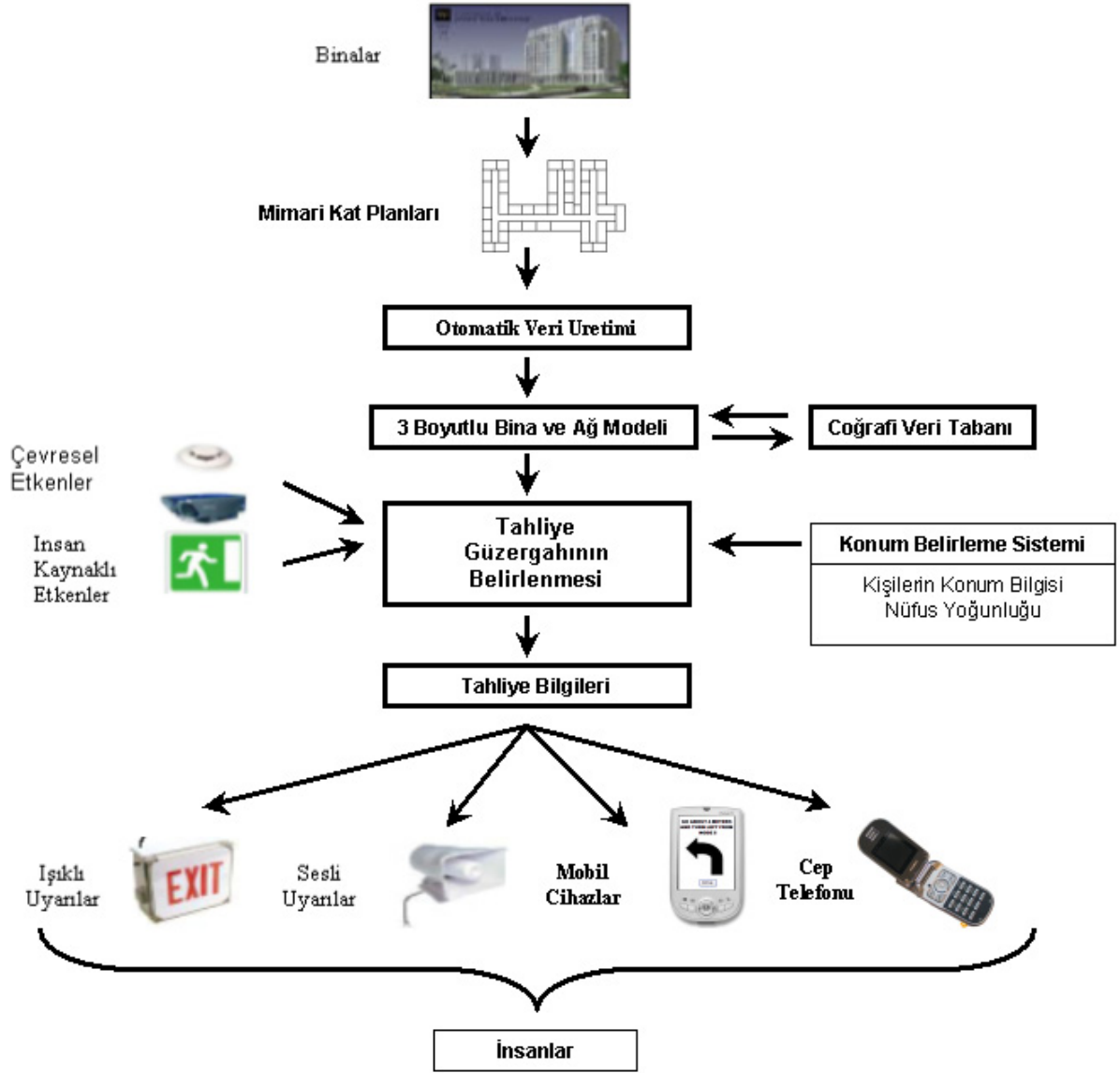
Olağanüstü ve acil durumlar statik yapıda olaylar değil, aksine dinamik ve değişken yapıdadırlar. Dolayısı ile tahliye güzergahlarının belirlenmesini doğrudan etkileyen bir çok etken söz konusudur. Bunları iki grupta toplamak mümkündür.

**Çevresel Etkenler:** Öncelikle hasarlı alanlar dikkate alınmalı ve güzergahlar buna göre dinamik olarak yenilenmelidir. Aynı şekilde kimyasal sızıntılar, gaz kaçağı, duman, elektrik kesintisi gibi etkenler güzergahların yenilenmesinde etkilidir. Bunların dışında çıkış alanlarının kapasiteleri dikkate alınarak, izdihama yer vermeyecek şekilde yoğunluğun farklı güzergahlara paylaşılması gerekir.

**İnsan kaynaklı etkenler:** Nüfus yoğunluğu, yaş, cinsiyet, engellilerin durumu ve zemin (merdiven vb.) tahliye hızını ve yoğunluğunu etkileyen insan kaynaklı faktörlerdir. Bu parametrelerin böyle bir sisteme girdi olarak sunulması zorunludur. Bu parametrelerin önem derecesi değişik yapıdaki binalar (hastahane, tiyatro vb.) için farklı farklı olabilir.

İdeal bir tahliye ve yönlendirme sistemi şu önemli bileşenlere sahip olmalıdır: Bina içindeki kişilerin konumları ve nüfus yoğunluğu hakkında bilgi veren bir konum belirleme sistemi, iletişim altyapısı, binanın 3B geometrik ve topolojik modeli, binada bulunan insanlar hakkındaki bilgiler (yaş, cinsiyet vb.), olay hakkında gerçek zamanlı bilgiler (binanın fiziki durumu, dedektörlerden gelen veriler vb.), güzergah hesaplamalarını yapan ve bu güzergahların ilgililere ulaştırılmasını ve kullanıcıların anlayacağı şekilde sunulmasını sağlayan yazılım ve donanım sistemleri (Şekil 1.6).

Bütün bu bileşenleri içeren ve yukarıda sayılan etkenleri birer parametre olarak göz önüne alan akıllı sistemler ile binada bulunan insanlar ve gerçekleşen olay hakkındaki gerçek zamanlı dinamik bilgiler kullanılarak binanın en kısa sürede ve en kısa yoldan tahliyesi ve görevlilerin binaya müdahalesi çok daha etkin ve düzenli bir şekilde gerçekleştirilebilir.



Şekil 1.6 İdeal bir tahliye sisteminin bileşenleri  
(Pu ve Zlatanova, 2005; Karaş ve Batuk, 2007)

#### 1.4.2 Bina İçi Navigasyon ve Adres Bulma

Cep telefonu ve el bilgisayarı gibi mobil cihazların, işlemci, grafik arayüzü, bellek ve iletişim yeteneklerinde son yıllarda meydana gelen gelişmeler, giderek kişiye özel navigasyon uygulamalarının ağırlık kazanmasına sebep olmaktadır. Dev yapılardan oluşan günümüzün karmaşık şehirleri adeta üstü açık (cadde ve sokaklar) yada kapalı (iş merkezleri, metrolar, geçitler, koridorlar vb.) yüzlerce yoldan oluşan birer labirenti andırmaktadır. Dolayısı ile, 2B araç içi navigasyon sistemleri yetersiz kalmakta, araç dışında da hizmet verebilecek sistemlere olan talep gün geçtikçe artmaktadır (Muslim, 2006). Tez kapsamında gerçekleştirilecek çalışmanın bir başka uygulama alanı da 2B sistemlerle bütünleşik, 3B adres bulma

uygulamalarıdır.

### **1.4.3 Bina İçi Güvenlik**

Hedeflenen sistemin uyarlanabileceği alanlardan birisi de bina için güvenlik uygulamalarıdır. Bu tür bir uygulamada, söz konusu sistemin kullanımıyla ziyaretçilerin bina içindeki konumlarını gerçek zamanlı olarak takip etmek ve gidecekleri birime ellerindeki mobil cihazlar ile yönlendirmek mümkün olabilecektir. Ziyaretçi gideceği yola bağlı olarak, telefonu tarafından görüntülü ve/veya sesli olarak yönlendirilir. Gideceği yer belli olduğu için kişinin bina içindeki konumu insan müdahalesine ihtiyaç duymadan, sistem tarafından otomatik olarak takip edilir ve ancak güzergah dışına çıktığında uyarı verilir. Dolayısı ile insan dikkatine bağımlı ve her zaman gözden kaçma ihtimali olan kameralı takip uygulaması yerine, güvenlik elemanlarının takibine gerek kalmadan sistem tarafından gerçek zamanlı izleme mümkün olabilir. Sabancı suikastı olarak bilinen ve 9 Ocak 1996 günü Sabancı Center'da gerçekleşen talihsiz olayda, teröristlerin 25. kata kadar sorunsuz bir şekilde çıkabilmeleri [1] düşünüldüğünde bu tür bir sistemin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

### **1.4.4 Bina içi hizmetlerin organizasyonu**

Tez kapsamında geliştirilmesi hedeflenen sistem kullanılarak temizlik, dağıtım, posta gibi hizmetlerin en kısa ve en hızlı yol/sıra ile gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede zaman ve para tasarrufu sağlanacaktır.

## **1.5 Literatür Araştırması**

Literatür araştırması kapsamında daha önce yapılmış olan çalışmalar, genel olarak 3B CBS ve 3B Ağ analizi ve navigasyon olmak üzere iki grupta incelenmiştir.

### **1.5.1 3B CBS'nin gerçekleştirimi yönünde yapılan çalışmalar**

3B CBS'nin gerçekleştirimi için bir çok model ve yöntem önerilmiştir. Bunlar şu şekilde sayılabilir:

Pek çok çalışmada 3B veri modelleme için voksel veri yapısının kullanımı üzerinde durulmuştur (Jones, 1989; Stoter ve Zlatanova, 2003). 2B piksel kavramından yola çıkılarak üretilen ve küp şeklindeki birim elemanlardan oluşan voksel veri yapısı, 3B objelerin oluşturulması ve bazı temel geometrik hesaplamaların gerçekleştirilmesinde oldukça faydalı bir modeldir. Bununla birlikte konumsal modellerin ve topolojik veri yapılarının

oluşturulmasında yetersiz kalmakta ve çok fazla bilgisayar kayıt alanı ve belleği gerektirmektedir.

Carlson (1987) “yalın karmaşıklık” (simplicial complex) olarak adlandırdığı bir model önermiştir. Düğüm, çizgi, yüzey ve hacim olarak sınıflandırdığı dört ana konumsal obje türünü sırasıyla, 0-simplex, 1-simplex, 2-simplex ve 3-simplex olarak adlandırmıştır. Ona göre bu model n sayıda boyuta kadar arttırılabilir.

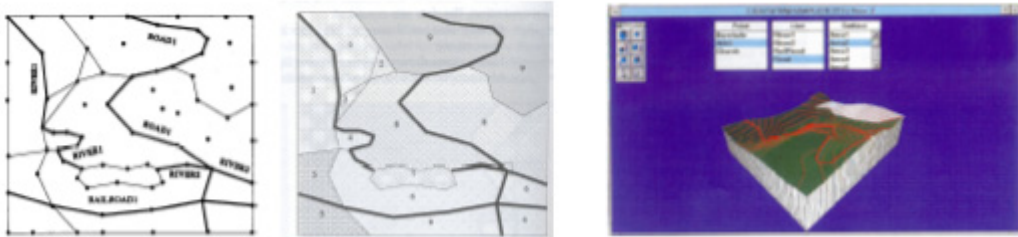
Molenaar (1992) “3B Biçimsel Vektör Veri Yapısı” (3D Formal Vector Data Structure) olarak adlandırdığı 3B bir topolojik model ortaya koymuştur. Söz konusu model düğüm (node), hat (arc), kenar (edge) ve yüzlerden (face) oluşmakta ve bunlar nokta, çizgi, yüzey ve gövde (body)’i tanımlamakta kullanılmaktadırlar.

Cambray (1993) 3B CBS’yi oluşturmanın bir yolu olarak 3B objelerle bütünleştirilmiş bir sayısal arazi modeli için “Katı Modelleme” (Constructive Solid Geometry-CSG ) ve “Yüzey Modelleme” (Karagülle vd, 2001) yöntemlerinin (Boundary Representation – B-Rep) bileşimi olan bir Bilgisayar Destekli Çizim (CAD) modeli önermiştir.

3B CBS’nin geliştirilmesi yönündeki diğer bazı çalışmalar ise Kraus (1995), Fritsch ve Schmidt (1995) ve Pilouk’un (1996) araştırmalarıdır. 3B araziyi gösterebilmek için çalışmalarında TIN (Triangulated Irregular Networks) veri yapısını tercih etmişlerdir. Veri yapıları ve model oluşturulması ile ilgili olarak herhangi bir obje tabanlı teknik (object oriented) kullanmamışlardır.

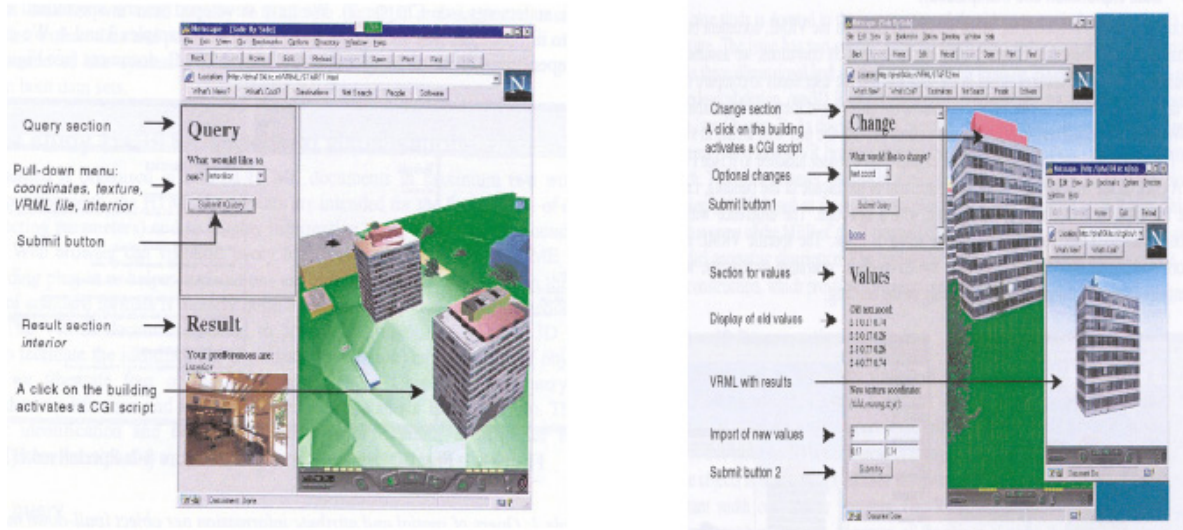
De la Losa (1998) ve Pfund (2001) ise Molenaar’a benzer şekilde obje tabanlı modeller önermişler, fakat konumsal ilişkilerin depolanması anlamında daha fazla detay kullanmışlardır.

Pilouk (1996)’ın çalışmaları 2 ve 2,5 boyutlu konumsal veri için TIN veri yapısı ve ilişkisel veritabanlarının kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır (Şekil 1.7).

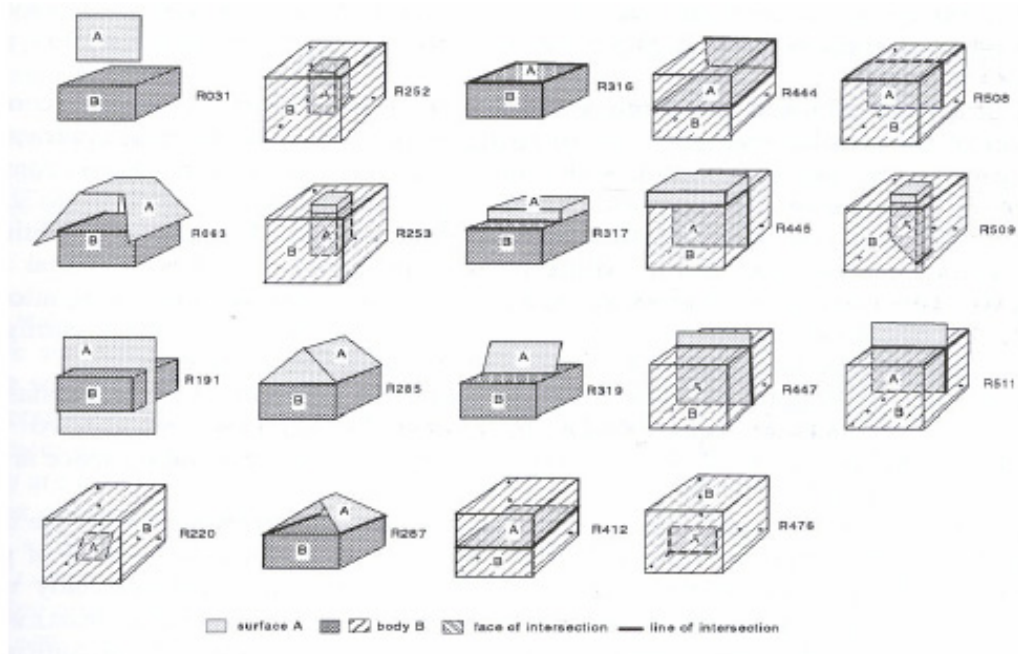


Şekil 1.7 2,5B TIN verisinin üretilmesi (Pilouk,1996)

Zlatanova (2000) ise web üzerinde de kullanılabilen ve sorgulanabilen (Şekil 1.8) 3B konumsal veri modellerinin geliştirilmesi anlamında, konu üzerinde oldukça geniş çalışmalar yapmıştır. 3B konumsal objelere ait, örneğin gövde (body) ve yüzey (surface) arasında 19, gövde ve çizgiler (line) arasında 19 ve yüzeylerle yüzeyler arasında 38 ilişki gibi çeşitli ilişkiler tanımlamış ve geliştirmiştir. Gövde ve yüzey ilişkileri Şekil 1.9’da gösterilmektedir.



Şekil 1.8 Zlatanova (2000) tarafından geliştirilen web tabanlı 3B sorgulamalar

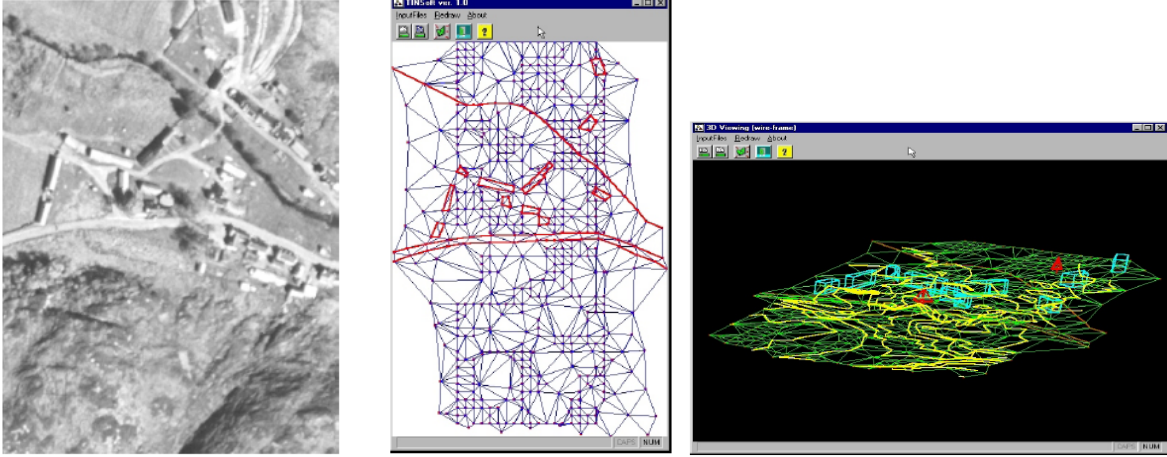


Şekil 1.9 Zlatanova (2000)’nın tanımladığı 19 farklı ilişki

Abdul-Rahman (2000) ise obje tabanlı (object oriented) ve TIN yapısını esas alan 2 ve 3B CBS üzerine yoğunlaşmış ve Molenaar’ın (1992) veri modeline dayanan obje temelli

mantıksal bir model geliştirmiştir (Şekil 1.10).

Billen ve Zlatanova (2003), 3B objeler için basit ve karmaşık topolojik konumsal ilişkileri, farklı seviyelerde yapılandırmışlar ve bu yapıyı kadastral objelere uygulayarak gereklilikleri ve faydaları ortaya koymuşlardır.



Şekil 1.10 Abdul-Rahman (2000) tarafından geliştirilen model

Pu (2004) , 3B serbest eğri ve yüzeyleri oluşturmak için geliştirilen modelleri incelemiş ve Oracle Spatial başta olmak üzere bu tür şekillerin konumsal veritabanlarında nasıl saklanacağı üzerinde durmuştur.

Son yıllarda giderek yaygınlaşan lazer uygulamaları, 3B yüzey verisini elde etmek için kullanılan yöntemler arasında ilk sıraya yükselmiştir. Özellikle 3B görselleştirme ve modelleme uygulamalarında oldukça öne çıkmış ve bu konuda bir çok çalışma yapılmıştır. Örneğin Achille ve Fassi (2006) gerçekleştirdikleri çalışmada restorasyon amacıyla lazer verisini kullanarak tarihi binaları modellemişlerdir. Benzer şekilde Kada vd. (2006) yersel lazer verisini kullanarak 3B şehir modellerinde bina yüzeylerinin gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesi üzerine çalışmışlardır.

Web tabanlı 3B uygulamalarla ilgili olarak geliştirilen çalışmalarda, konumsal sorgulama ve görselleştirme amacıyla VRML (Virtual Reality Modelling Language) ve X3D (Extensible 3D) yapıları kullanılarak bir çok prototip geliştirilmiştir. (Stoter vd. 2003).

Bir CBS'nin etkin ve verimli olarak çalışmasında konumsal veri tabanı büyük rol oynar. Stoter ve Zlatanova (2003), 3B objelerin topolojik ve geometrik olarak bir konumsal veri tabanı yönetim sisteminde (VTYS) nasıl organize edilebileceği konusunda ayrıntılı öneriler getirmişlerdir. Arens vd. (2005) ise OGC'nin spesifikasyonlarına uygun olarak, 2B sistemlere

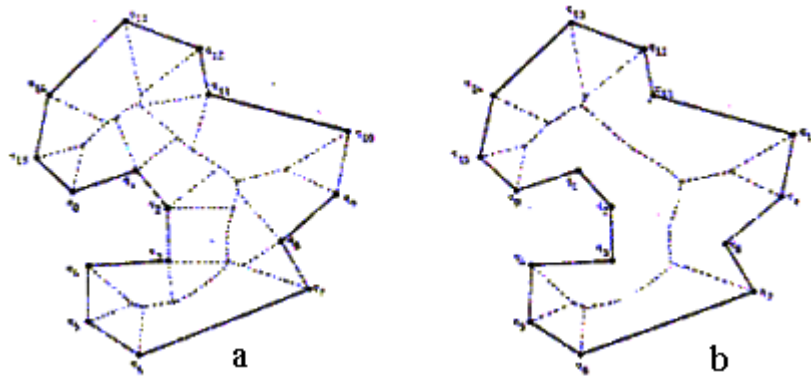


benzer şekilde, 3B objeler için temel şekillerin (primitives) bir VTYS’de nasıl depolanabileceği üzerinde durmuşlardır. En temel şekil olarak polihedronu kullanmışlar ve daha karmaşık şekiller üzerinde çalışmaların devam ettiğini belirtmişlerdir. Nitekim, Stoter ve Zlatanova, (2003) 3B CBS’nin topolojik altyapısını bütünüyle destekleyen bir VTYS’den bahsedebilmek için en az 6-7 yıllık bir süre olduğunu bildirmişlerdir.

2006 Ağustos’unda gerçekleştirilen 3D GeoInfo başlıklı konferansın sonuç bildirgesinde de belirtildiği gibi (Abdul-Rahman, 2006), 3B CBS gerçekleştirimi anlamında yapılan çalışmalara bakıldığında, görselleştirme % 90, diğer uygulamalar %50 civarında etkinken, konumsal veri analizleri ile ilgili çalışmaların ancak %10 düzeyinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum aynı bildirmede “Gerçek bir 3B CBS hala çok uzakta” cümlesiyle kayıtlara geçirilmiştir.

### 1.5.2 3B Ağ Analizi ve Navigasyon Uygulamaları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Lee (2001) bina içlerindeki konumsal verilerin geometrik ve topolojik olarak modellenmesi amacıyla “Node Relation Structure” adlı veri modelini önermiştir. Söz konusu model için gereksinilen veriyi elde etmek için ise “Medial Axis Transformation” adlı yöntemi geliştirmiştir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 Lee (2001) tarafından geliştirilen “Medial Axis Transformation” adlı yöntem.

(a) Voronoi çizelgesine göre bölümlenmiş poligon, (b) Medial Axis Transformation

Gillieron ve Merminod (2003) iç mekanlara yönelik bir konumlandırma ve navigasyon sistemi geliştirmişler ve geliştirdikleri sistemi büyük bir binada test ederek başarılı sonuçlar elde ettiklerini açıklamışlardır (Gillieron vd., 2004).

Kwan ve Lee (2005), 11 Eylül saldırılarının ardından yaptıkları çalışmada, çok katlı binalardaki 3B yol ağının, yerüstündeki 2B ulaşım ağıyla entegre edilmesiyle, acil durumlarda

müdahale süresinin kısılacağını gösterdikleri bir sistem önermişler ve bu tür bir sistemin sağlayacağı faydaları ortaya koymuşlardır.

Meijers vd., (2005) tahliye güzergahlarının hesaplanması için, iç mekanlara yönelik olarak bir semantik model geliştirmişler, modeli bir uygulama üzerinde test etmişlerdir.

Zlatanova ve Holweg (2004), acil durumlara yönelik olarak 3B coğrafi bilgi teknolojileri için bir çerçeve çizmişler, farklı senaryolara göre çalışacak bir kavramsal sistem önermişlerdir. Pu ve Zlatanova (2005) ise mevcut tahliye sistemlerini incelemiş, iç mekanlara yönelik olarak tahliye güzergahının belirlenmesi için gerekli 3B yapı hakkında tespitlerde bulunmuşlardır.

Pu ve Zlatanova (2005) ve Abdul-Rahman (2007) binaların geometrik ve topolojik modellerinin otomatik olarak elde etmenin zorluklarından bahsederek, özellikle hat-düğüm yapısının ancak manuel yada yarı otomatik yöntemlerle oluşturulabildiğine dikkat çekmişlerdir.

Kaemarungsi (2005), kablosuz yerel ağların oluşturduğu bir ağda, sinyal gücüne bağlı olarak vericinin konumunun izini (fingerprint) elde ederek iç mekanlara yönelik bir konumlandırma sistemi tasarlamıştır.

Jörg Haist vd. (2006) mobil cihazların navigasyon sistemlerinde kullanımına yönelik olarak, üzerinde çalıştıkları web tabanlı uygulamalarda karşılarına çıkan ve çözülmesi gereken problemlerden söz ederek, özellikle düşük bant veri transferi sorununun, gerçek zamanlı 3B görselleştirme uygulamalarındaki başarıyı düşürdüğünü göstermişlerdir.

## 1.6 Metodoloji

Bir sistemin geliştirilmesinde kullanılacak yöntemlerin amaca uygun olarak en baştan planlanması gerekir. Olası sorunların önüne geçmek ve sistem ihtiyaçlarını belirlemek açısından bu oldukça önemlidir. Bu çalışma ile amaçlanan sistemin tasarım adımlarında aşağıdaki genel esaslar dikkate alınmıştır.

**Kavramsal ve Mantıksal Tasarım:** 3B mekanlar olan binalar, oda, koridor, geçit, asansör ve merdiven gibi bir çok konumsal objenin oluşturduğu yapılardır. Tezin ilk aşamasında söz konusu konumsal objeleri ve aralarındaki ilişkileri, geometrik ve topolojik yönden ortaya koyan bir kavramsal ve mantıksal tasarım gerçekleştirilmiştir. Bina modelinin tasarımında spagetti veri yapısı, Ağ modelinin tasarımında ise graf teorisini temel alan hat-düğüm yapısı esas alınmıştır. Görselleştirme uygulamaları ise bilgisayar grafikleri algoritmaları

kullanılarak programlanmıştır.

**Geometrik ve Topolojik Bina Modelinin Otomatik Olarak Elde Edilmesi:** Pu ve Zlatanova (2005) ve Abdul-Rahman (2007) binaların geometrik ve topolojik modellerinin otomatik olarak elde etmenin zorluklarından bahsederek, özellikle hat-düğüm yapısının ancak manuel yada yarı otomatik yöntemlerle oluşturulabildiğine dikkat çekmektedirler. Tez çalışması kapsamında söz konusu zorlukları aşmak amacıyla yeni bir yöntem geliştirilmiş ve veri üretimi büyük ölçüde otomatize edilmiştir. Bu yöntemin kullanımıyla, kavramsal modele uygun olarak tasarlanan geometrik ve topolojik bina modellerinin 3B ağ analizi yapmayı mümkün kılacak şekilde otomatik olarak elde edilmesi mümkün olmaktadır.

**Konumsal Veri Tabanı Tasarımı (Fiziksel Tasarım):** Geometrik ve topolojik bina modelleri ile optimum güzergah verilerinin, geliştirilen kavramsal tasarıma uygun bir şekilde, sistematik olarak bir arada derlendiği bir konumsal veri tabanı yapısı tasarlanmıştır. Otomatik olarak üretilen bina modelleri, veri üretimi aşamasında sistem tarafından oluşturulan söz konusu konumsal veri tabanına aktarılmaktadır.

**3B Ağ Analizi:** Dijkstra tarafından geliştirilen en düşük maliyet yöntemi kullanılarak tasarlanan 3B Ağ Analizi uygulaması ile en kısa yol, en kısa süre gibi optimum güzergah analizlerinin gerçekleştirilmesi mümkün kılınmıştır.

**Simülasyon:** Simülasyon uygulaması, optimum güzergah analizleri ile iki nokta arasındaki en uygun yolun belirlenmesinin ardından, bu yolu kullanacak olan bir kimsenin hareketlerini modelleyerek gösteren ve navigasyon aşamasını simüle eden bir uygulamadır. Bölüm 3.5.1’de de detayları ile açıklanacağı üzere, bu uygulamada yazıyı sese çeviren “Text to Speech” algoritmaları ile, yön tespitini gerçekleştirmek üzere geliştirilen özel algoritmalar kullanılmıştır.

**Navigasyon:** Navigasyon uygulaması, geliştirilen sistemle bütünleşik web tabanlı bir çalışmadır. Bu uygulama kullanılarak, kişilerin mobil cihazlar (cep telefonu, PDA vb.) yardımıyla bina içinde etkileşimli olarak yönlendirilmeleri mümkün olmaktadır. Uygulamanın yazılım altyapısı için sunucu taraflı script dilleri kullanılmış, GPRS, WAP ve WLAN kullanılarak geliştirilen etkileşimli iletişim modeli ile görsel ve sesli olarak istenen hedefe doğrudan yönlendirme sağlanmıştır.

## 2. 3B AĞ ANALİZİNİN TEMELLERİ

Bölüm 1’de belirtildiği üzere kapsama, komşuluk, eşitlik, yön, bağlantılılık gibi konumsal ilişkiler, CBS’de gerçekleştirilen işlemlerin büyük çoğunluğunun temelidir. Gerçek bir 3B CBS, iki boyutlu CBS’dekilere benzer olarak, tüm konumsal analizleri gerçekleştirebilecek kabiliyete sahip olmalıdır. Bu açıdan bu bölümde öncelikle genel olarak (2B) ağ analizleri üzerinde durulacak, farklı türdeki analizler hakkında bilgi verilecektir.

2B yada 3B, ağ analizleri için kullanılan konumsal objeler, bir şebeke yapısında düzgün hatlarla birbirine bağlanmış olarak vektörel yapıda bir araya getirilmelidirler. Ancak hat-düğüm topolojisi oluşturulmuş veriler ağ analizlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlarlar. 3B ağların da temelini oluşturan hat-düğüm yapısı topolojik bir yapıdır ve graf teorisini esas alır. Bu sebeple, ilerleyen bölümlerde CBS’de topoloji kavramı ele alınacak, ardından da ağ analizi uygulamalarının matematiksel alt yapısının anlaşılmasını sağlayan Graf Teorisi hakkında bilgi verilecektir.

### 2.1 Genel Olarak (2B) Ağ Analizi Uygulamaları

Kara yolları, tren yolları, nehirler, boru hatları, telefon ve elektrik hatları gibi birbirlerine çizgi özelliklerle bağlı sistemler ya da yapılar **ağ** olarak adlandırılır. Ağ yapıları üzerinden bir noktadan diğer bir noktaya erişebilme özelliği vardır (Esri, 1996). İnsanların bir yerden başka bir yere ulaşmaları, servis hizmetlerinin ve malların taşınması ve dağıtılması, kaynak ve enerjinin ulaştırılması ve bilgi iletişimi gibi faaliyetler, tanımlanabilen ağ yapıları içinde gerçekleşir (Güngör, 1999).

Bir konumdan bir başka konuma yapılan iletim yada yolculuklar ağ analizlerinin konusunu oluşturur (Aranoff, 1993). **Ağ analizleri**, şebeke yapısına sahip, birbiriyle birleşen coğrafi varlıkların bağlantı şekillerinden, karar vermeye yönelik sonuç çıkarmaya yarayan konum analizleridir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 En yakın mesafeye bağlı olarak karar vermek.

Bir şehrin sokakları, enerji nakil hatları, bir havayolunun hizmet ağı, yada su tahliye kanallarının yapısı bu tür ağlar için ilk akla gelen örneklerdendir. Bu sistemler üzerinde optimum karar vermek için yapılan sorgulamalar ve analizler coğrafi bilgi sistemlerinde ağ analizleri olarak adlandırılırlar. Zaman kavramının çok önemli olduğu acil durumlarda; ambulans, itfaiye ve polis araçlarının istenen noktaya en kısa sürede ulaşması, itfaiye merkezlerinin hangi noktalara yerleştirilmesi gerektiği, ya da arıza esnasında hangi binaların elektriklerinin denetlenebileceği gibi uygulamalar da ağ analizleri kapsamındadır (Yomralıoğlu, 2000). Özellikle gelişmiş ülkelerde, ağ analizlerinin optimum güzergah tespiti dışında diğer bir çok uygulamada kullanıldığı görülmektedir. Dağıtım güzergahı modellemesinden deprem sonrası planlamasına, elektrik hatları arızalarından adres belirlemeye, yatırım analizlerinin yapılmasından güvenlik uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazedeki problemler, ağ analizleri ile çözülmektedir (Yıldırım ve Yomralıoğlu, 2002).

Ağ analizinin temel amacı çizgi (hat) detayların konumsal analizidir. Haritadaki çizgi detaylar iki ana sınıfa ayrılır: fiziksel hatlar ve sanal hatlar. Genel olarak fiziksel hat gerçek dünyada vardır ve hava fotoğraflarında gözlenebilir. Nehirler, kıyı çizgisi ve yollar fiziksel hatların tipik örnekleridir. Sanal hatlar ise politik sınırlar ve yönetim sınırları gibi soyut yapıdadır. Politik birimler arasında çeşitli ölçeklerdeki sınırlar sanal hatların tipik örneğidir. Coğrafi gridi oluşturan meridyenler ve paraleller sanal hatların diğer bir türüdür. Hat özelliklerinin

konumsal analizinde iki tip problem ile ilgilenilir (Erden vd., 2003);

- Hatlar arasındaki bağlantının yapısı
- Birbirine bağlı hatlar vasıtasıyla sistemdeki hareket

Bağlantılı hatlar bir ağı tanımlar ve ağın analizi ağ analizi olarak adlandırılır. Bir çok durumda ağ analizi sokaklar, yollar ve anayollar gibi fiziksel hatlar ile ilgilenir. Sanal hatlar ağın yapısını pek etkilemez. Klasik olarak ağ analizi ulaşım araştırmalarının bir alt disiplindir. Ağ analizi ile ilgili konular, ulaşım coğrafyası, kırsal alan ulaşım planlaması, harita mühendisliği, inşaat mühendisliği, endüstri mühendisliği ve ulaşım ekonomisi ile ifade edilir (Chou, 1997).

Ağ analizi uygulamalarını genel olarak dörde ayırmak mümkündür:

- İki nokta arasındaki optimum yolun belirlenmesi
- Optimum dağıtım güzergahlarının belirlenmesi
- Etki alanın yada merkezi konumun belirlenmesi
- Ağdaki yoğunluğunun tahmin edilmesi

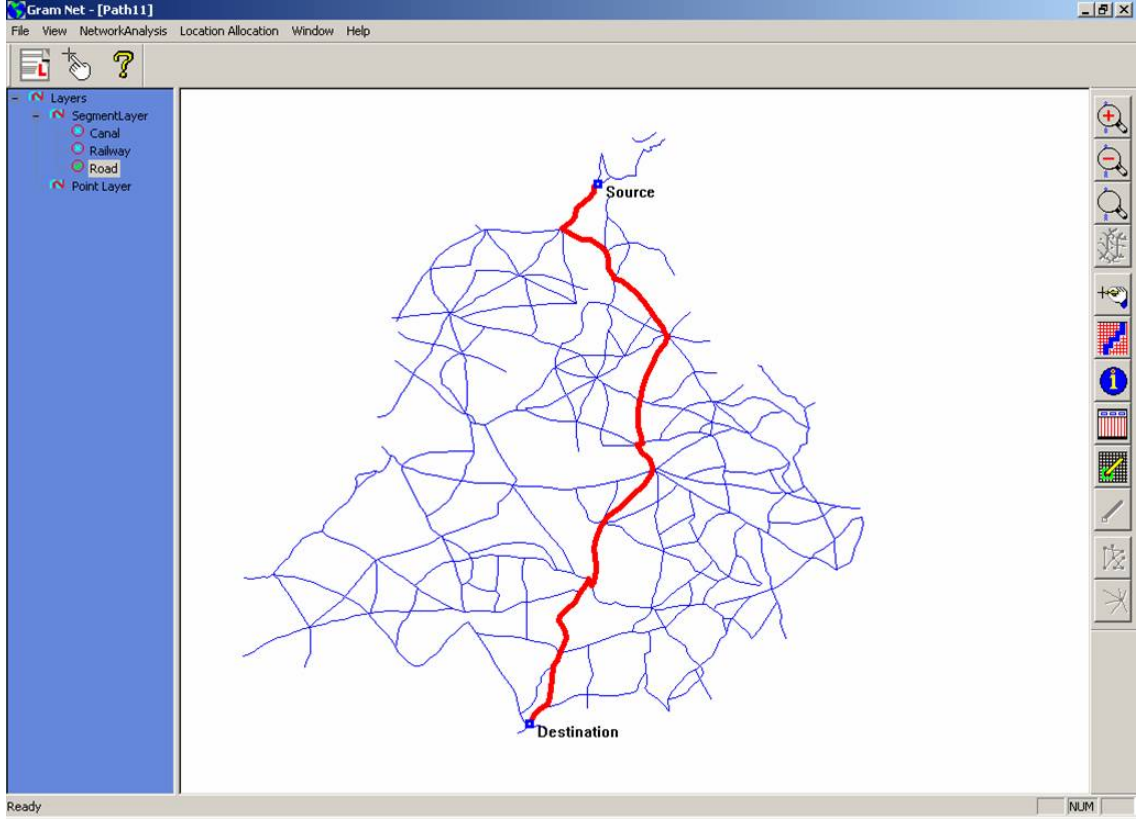
### **2.1.1 İki Nokta Arasındaki Optimum Yolun Belirlenmesi (Route Optimization)**

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde, iki nokta arasında birden çok bağlantı var ise, bu bağlantılardan hangisinin en uygun çözüm olduğuna karar vermek için yapılan işlemler, optimum yol belirleme olarak bilinir (Yomralıoğlu, 2000). En uygun çözüm ile kastedilen, iki nokta arasındaki en kısa mesafe olabileceği gibi (Şekil 2.2), belli özellikleri sağlayan başka kriterler de en uygun yolun belirlenmesinde etkili olabilir. Örneğin bir ambulans için, hastayı aldığı nokta ile hastane arasındaki trafik yoğunluğu en az olan, nispeten daha uzun, fakat daha hızlı ulaşılabilecek bir yol, en uygun çözüm olabilir. Benzer şekilde, iki şehir arasındaki farklı iki yoldan, topoğrafyası ve zemin yapısı daha iyi olanı, daha uzun olsa da, diğerine göre tercih edilebilir.

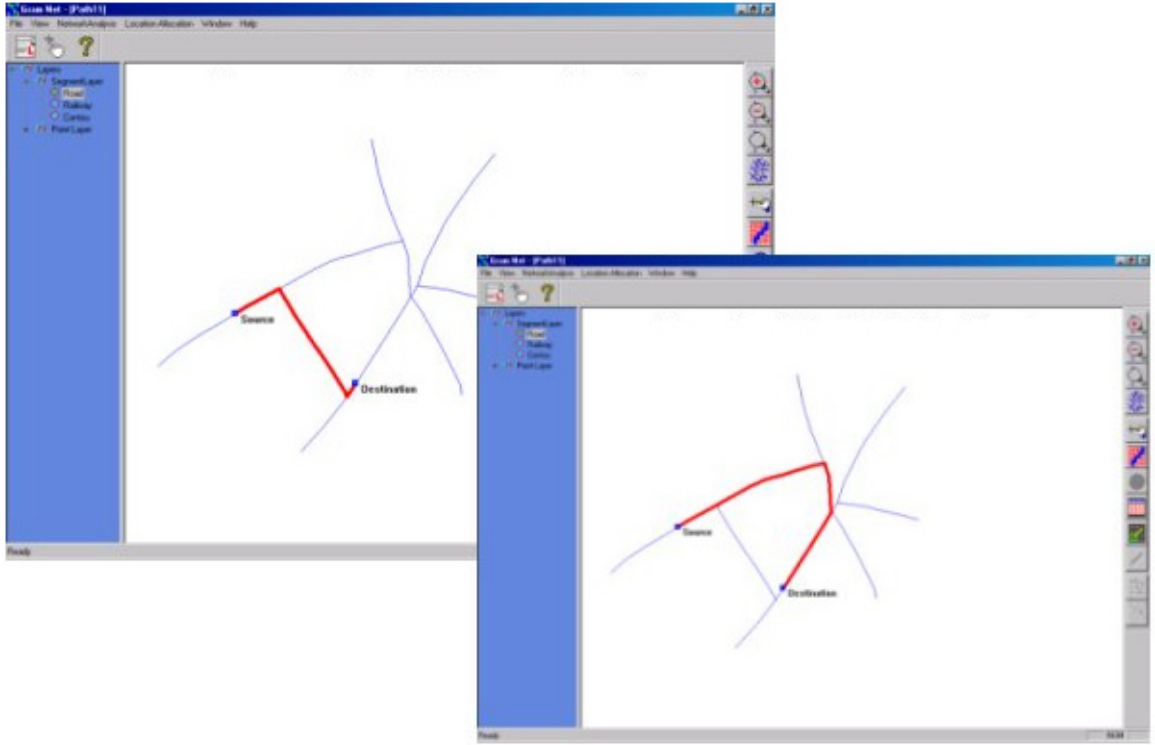
CBS yazılımlarında, optimum yolun belirlenmesi işleminin matematiksel altyapısı Dijkstra tarafından geliştirilen yöntemeye dayanır. (Bkz. Bölüm 2.3.14) Dijkstra algoritması minimum maliyetli (en kısa yol, süre, vb.) yolların hesaplanmasında kullanılan en yaygın yöntemdir (Dijkstra, 1959).

Her ağ, yapısındaki farklı özelliklere bağlı olarak özel analiz fonksiyonlarını gerektirebilir.

Örneğin, bazı yollar tek yönlüdür, yada geçici olarak kapatılmıştır. Bazı sokaklardaki hız limitleri ve kapasiteleri -özellikle trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde- farklı farklı olabilir. Gerçekleştirilecek ağ analizi uygulamalarında bu tür durumlar göz önüne alındığında, alternatif yolları elde etmek mümkün olabilir (Şekil 2.3).



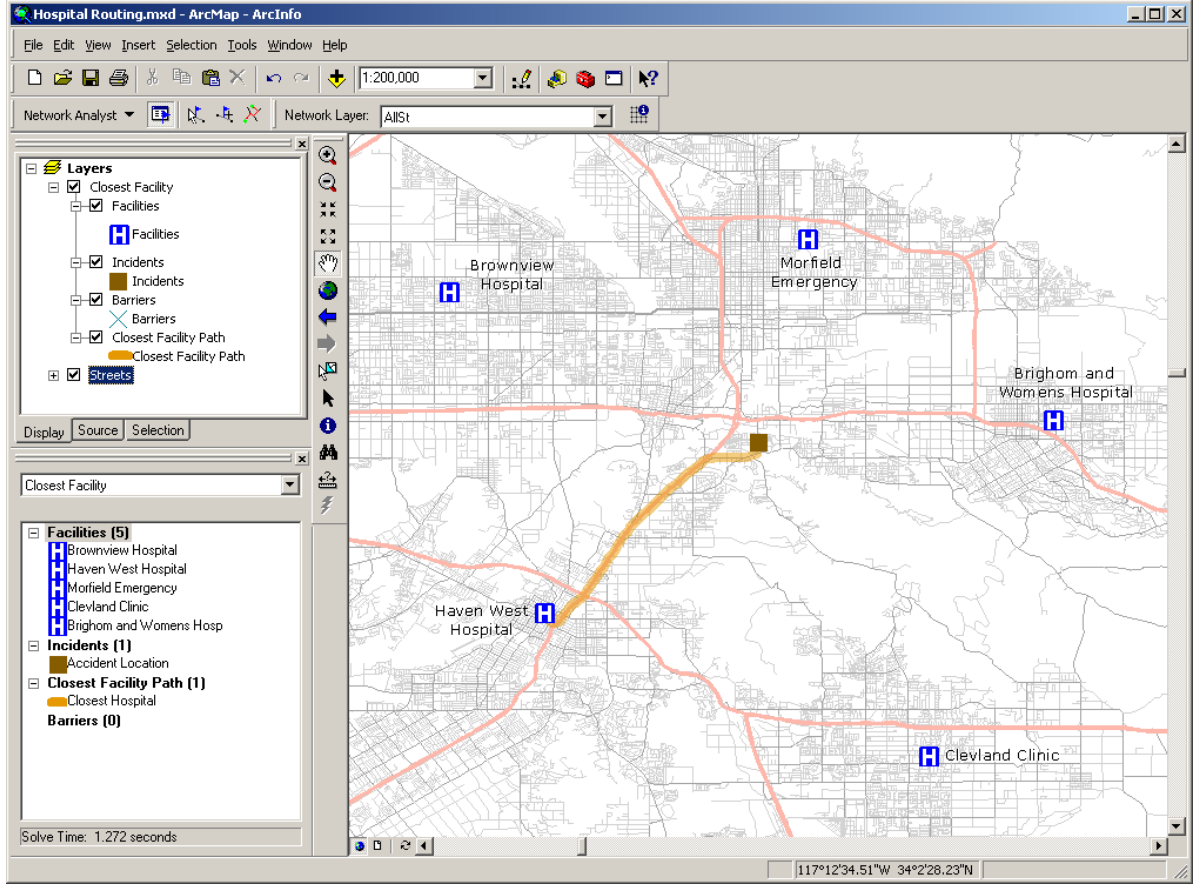
Şekil 2.2 Çıkış ve hedef noktası arasındaki en kısa mesafe [5]



Şekil 2.3 Belirli bir sokağın ulaşımına açık yada kapalı oluşuna bağlı olarak optimum yol analizi [5]

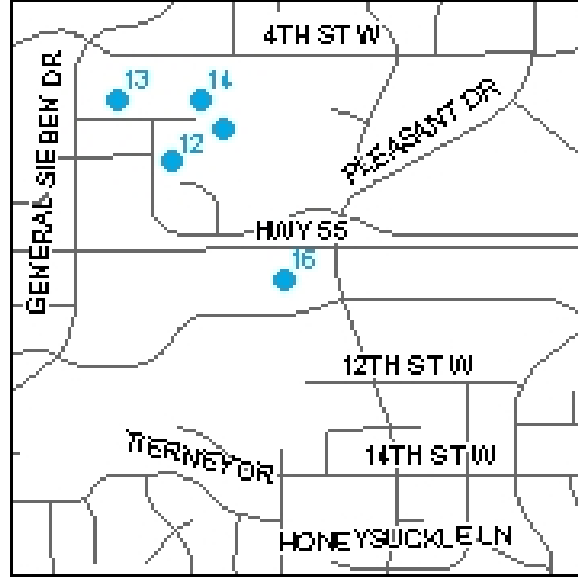
Optimum yolun belirlenmesi uygulamalarından biri de Yakınlık Analizidir (Find Closest Facility). Yakınlık analizi, belirli bir noktanın çevresindeki bir çok nokta ile arasındaki yolların belirlenmesi ve bunlardan en kısa olanının seçilmesi işlemidir. Örneğin; çevredeki hastanelerden çıkacak ambulanslardan hangisinin olay yerine daha çabuk ulaşabileceğinin belirlenmesinde yakınlık analizi kullanılır (Şekil 2.4). Bunun için öncelikle olay yeri ile tüm hastaneler arasındaki en kısa yollar belirlenir, ardından bu yollardan en kısa olanı kullanıcıya sunulur.





Şekil 2.4 Yakınlık Analizi ile olay yerine en yakın olan hastanenin belirlenmesi [3]

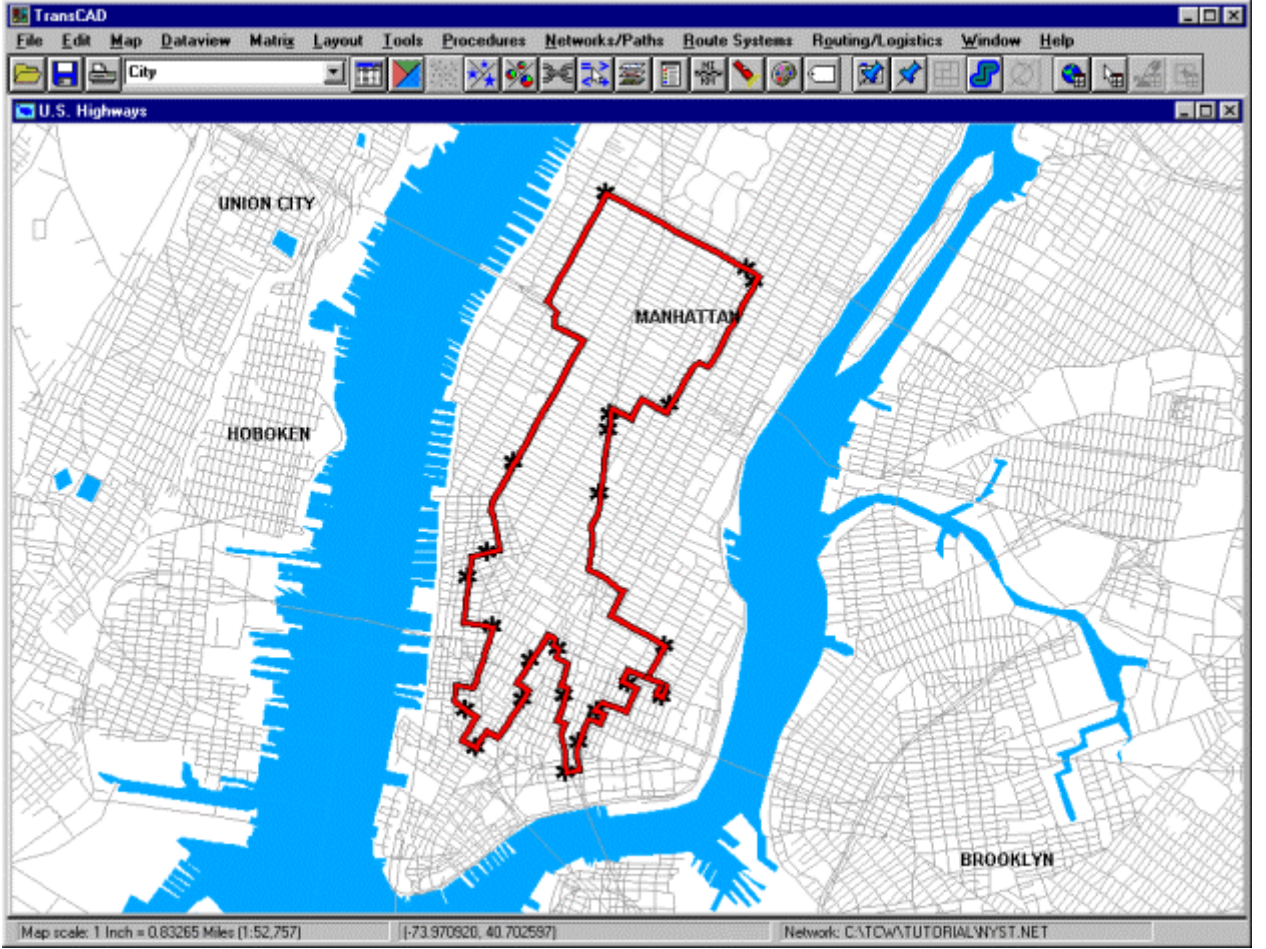
Bir başka optimum yol belirleme analizi de Adres Belirleme uygulamalarıdır. Bu tür uygulamalarda sorgulamaların yapılması ve sonuçların elde edilmesi adres bilgisine bağlı olarak gerçekleştirildiği için, ağ yapısını içeren konumsal veriye ilaveten, adres verisini içeren öznitelik verilerinin de sistemde kayıtlı olması gereklidir. Adrese bağlı sorgulamalarda, yol ağı üzerindeki iki nokta arasındaki analizden farklı olarak, öncelikle adres eşleştirme (Adress Matching = Geocoding) işleminin yapılması gereklidir. Bu yaklaşımda her adres (ev, bina vb.) konumsal veri tabanında bir noktayla temsil edilir. Adres eşleştirme işleminde, bu nokta, en yakınında bulunan sokak yada cadde ile eşleştirilerek yol ağı üzerindeki karşılığının bulunması gereklidir. Bu işlemin ardından, problem yol ağı üzerindeki iki nokta arasında en kısa yolun bulunması işlemine dönüşür. Böylece, gidilmek istenen noktaya ait adres bilgisi girildiğinde, o adrese ulaşmak için geçilmesi gerekli olan cadde ve sokakların listesini elde etmek mümkün olur (Şekil2.5).



Şekil 2.5 Adres eşleştirme [6]

### 2.1.2 Optimum Dağıtım Güzergahının Belirlenmesi

Bir noktadan başlayıp, gidilmesi gerekli bir çok noktadan geçerek başlanılan noktaya geri dönülen en kısa turun gerçekleştirilmesi, bu tür uygulamaların konusunu oluşturur (Şekil 2.6). Örneğin, bir postacı şehrin muhtelif kesimlerine teslimat yapacak olsun. Posta merkezinden çıkıp, gitmesi gereken tüm adreslere uğradıktan sonra turu tamamlayarak tekrar posta merkezine geri dönmesi gerekmektedir. Bunu sağlayacak olan alternatif turlardan en kısa olanının analiz edilmesi CBS’de dağıtım güzergahlarının belirlenmesi olarak bilinir. Söz konusu analizin temeli Hamilton tarafından ortaya konulan ve Gezgin Satıcı Problemi olarak bilinen matematiksel altyapıya dayanır (Bkz. Bölüm 2.3.11). Dağıtım, çöp toplama ve devriye hizmetleri gibi bir çok uygulama için optimum turun bulunması bu analiz sayesinde gerçekleştirilir.



Şekil 2.6 En kısa dağıtım güzergahının belirlenmesi [7]

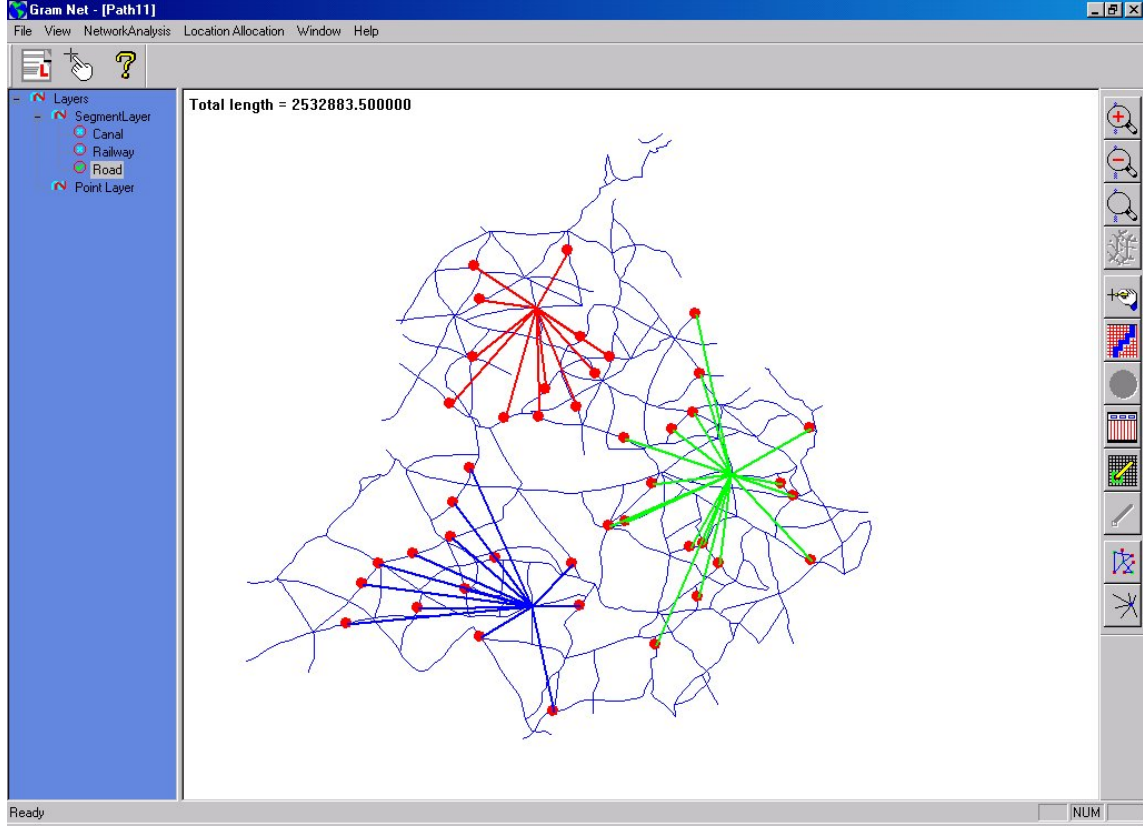
### 2.1.3 Etki Alanının yada Merkezi konumun Belirlenmesi

Bu tür analizler genellikle planlama ve yatırıma yöneliktir. Uygulamada iki şekilde gerçekleştirilir (Aranoff, 1993; Lo ve Yeung 2002). İlki hastane, okul gibi mevcut olan merkezi noktaların, ulaşım imkanları göz önüne alınarak etki ve sorumluluk alanlarının bulunması işlemidir. Diğer ise belirli bölgelere ayrılmış bir ağdaki her bir bölgenin merkezinin bulunması işlemidir ve örneğin bir dağıtım ağında bu noktalar kaynak nokta olarak anılmaktadır. Bu açıdan Kaynak Tahsisi de (Resource Allocation) denmektedir. Söz konusu analizlerin matematiksel temeli Graf Teorisine dayanmaktadır ve en az dallanan ağaçlardan, maliyeti en düşük olanının bulunması ile çözüme ulaşılmaktadır (Bkz. Bölüm 2.3.13).

#### 2.1.3.1 Merkezlerin Etki Alanlarının Belirlenmesi

Merkezi noktaların etki alanının sınırlarının belirlenmesi işlemidir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, büyük şehirlerdeki mevcut polis merkezlerinin her birinin, konumlarına bağlı olarak

optimum yoldan ulaşımlarını sağlamak üzere m¼dahale alanlarının belirlenmesi, bu t¼r bir işleme ¼rnektir (Aranoff, 1993). Bu analizle mevcut karakolların sorumluluk alanına giren b¼lgeler tespit edilmekte ve sınırları belirlenebilmektedir. Bu Şekildeki bir paylaşımla Şehrin t¼m noktalarına etkin bir Şekilde ulaşılabilecek ve en kısa zamanda m¼dahale edilmesi sağlanabilecektir.

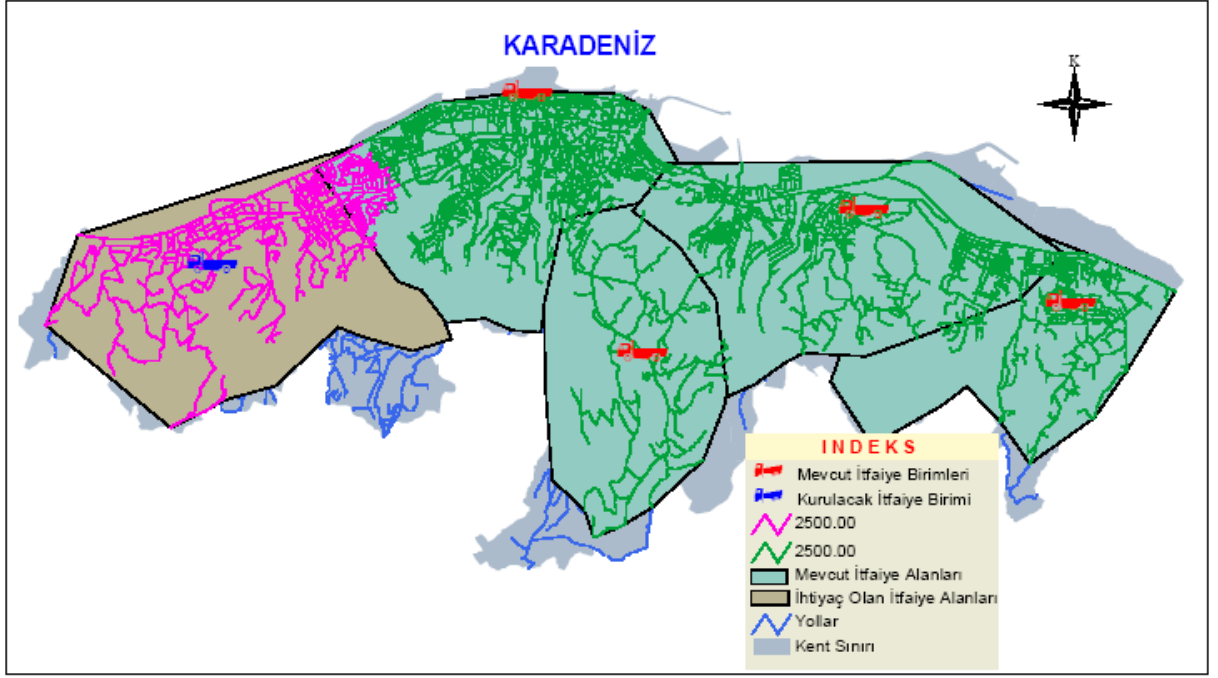


Şekil 2.7 Etki Alanlarının belirlenmesi [5]

### 2.1.3.2 En Uygun Merkezi Konumun Belirlenmesi

Bu işlem, etki alanını belirlenmesi işleminin tersi bir uygulamadır ve verilen b¼lgeler için en uygun merkez bulunur (Şekil 2.8). ¼rneęin, belediye tarafından bir otob¼s hattı ¼zerindeki durakların yerinin belirlenmesi, bu t¼r bir analize ¼rnektir ve yolcuların n¼fus ve ikamet durumu ve duraklara erişim olanakları gibi bilgiler dikkate alınarak gerçekleştirilir (Korte, 1997). Benzer Şekilde, okul alanları, ¼p toplama merkezleri, hastaneler, itfaiye çıkış noktaları, ya da ticari amaçlı bir alış-veriş merkezi gibi yapılar için en uygun yer tespiti de bir çok parametrenin irdelenmesini gerektirir. Bu t¼r uygulamalar, ağ yapısındaki coğrafi varlıkların aynı anda analiz edilerek, uzaklık, ulaşım maliyeti ve ulaşım zamanı gibi ¼l¼tlerin g¼z ¼n¼ne alınması ve en optimum merkezlerin noktasal olarak tespit edilmesi Şeklinde gerçekleştirilirler. Tespit edilecek merkez, kullanıcı tarafından verilecek kriterleri sağlayacak

nitelikte olacağından, ağ üzerindeki tüm nokta ve çizgiler yeterli öznetelik bilgilerine sahip olmalıdır (Yomralıoğlu, 2000). Örneğin, gerçekleştirilecek seçimde oy sandıklarının yerleştirileceği noktaların tespiti gibi bir talebin karşılanması için, ulaşım ağı yanında, sandık sayıları, numaraları ve bu sandıklarda oy kullanacak seçmenlerin adres bilgileri bilinmeli ve hepsi birlikte değerlendirilmelidir. Ağ analizleri ile sandıkların yerleştirileceği noktalar tespit edilmelidir.



Şekil 2.8 Verilen bölgeler için kentteki itfaiye birimi kurulacak merkezlerin belirlenmesi (Yıldırım, 2003)

#### 2.1.4 Ağdaki Yoğunluğunun Tahmin Edilmesi

Ağ analizi uygulamalarıyla bir ağda meydana gelecek olayları önceden tahmin etmek ve simülasyonlar gerçekleştirmek mümkündür. Örneğin, belirli dönemlerde meydana gelen yağış ve fırtınalar nehirlerde normalin üstünde bir su akışına sebep olur, nehrin kollarının sayısı artar, kapladıkları alanlar genişler. Böyle durumlarda, nehrin kollarında meydana gelecek taşkınların, oluşacak yeni kolların ve suyun yayılma alanının tahmin edilmesinde ağ analizleri kullanılır. Ağdaki yayılmanın yön ve miktarlarının önceden doğru bir şekilde tahmin edilmesi olağanüstü durumlara karşı hazırlıklı olunmasında ve önlem alınmasında oldukça etkilidir (Aranoff, 1993). Benzer şekilde elektrik hatlarındaki yüklenmeler de ağ analizi uygulamalarıyla modellenerek simule edilebilir.

## 2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Topoloji

CBS yazılımlarını diğer CAD yazılımlarından ayıran en önemli özellik coğrafi analiz, diğer bir ifade ile konumsal analitik işlemleri yapabilme yeteneğidir (Maguire, 1992). Coğrafi analizler ise, bu yazılımların içerdiği topolojik yaklaşımlar sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısı ile herhangi CAD yazılımı için zorunlu olmasa da, bir CBS yazılımı, topolojik ilişkileri kapsamalıdır. CBS'nin geometrik temellerinde en önemli yapıyı topolojik veri yapıları oluşturmakla birlikte, çoğu kez üzerinde çok fazla durulmadığı görülmektedir. Bu açıdan ilerleyen bölümde topoloji kavramı üzerinde durulacak, Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki topolojik veri yapıları örneklerle detaylandırılacaktır.

### 2.2.1 Topoloji Kavramı

CBS'de konumsal objeler arasında temel olarak üç farklı koordinat dönüşümünden bahsetmek mümkündür. Bunlar benzerlik dönüşümü, afin dönüşümü ve projektif dönüşümdür.

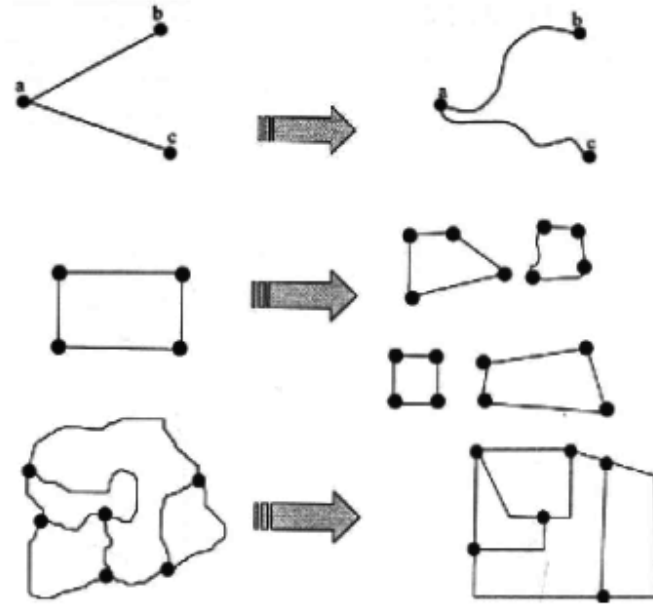
Benzerlik dönüşümünde, dönüşüm sonucunda elde edilen şekil, orjinal şeklin benzeridir. Sadece uzunluklar ölçek faktörü oranında değişerek, şekilde büyüme yada küçülme olur, açılar değişmez. Afin dönüşümünde, şekil dönüşümden sonra geometrik olarak bozulur ve açılar değişir. Ancak doğrular yine doğrudur, paralellikler korunur. Projektif dönüşüm, diğer dönüşümlere göre daha genel bir yöntem olup, iki düzlem arasındaki paralel olup olmama durumuna ve izdüşümün merkezsiz veya paralel olmasına bakılmaksızın dönüşüm yapıları (Tüdeş ve Bıyık, 1994).

Dönüşüm aynı zamanda geometrik objeler arasındaki fonksiyonel bir bağıntıdır. Benzerlik dönüşümünde en az dört, afin dönüşümünde en az altı ve projektif dönüşümde en az sekiz parametre için çözüm yapılması gerekir. Dolayısı ile benzerlik dönüşümünden, projektif dönüşüme doğru, bağıntılardaki bilinmeyen sayısı artmakta, sonuçta metrik geometri gittikçe daha fazla bozulmakta ve şekil gittikçe daha fazla deforme olmaktadır. Böylece söz konusu her dönüşüm grubu ayrı bir geometriyi ortaya koymaktadır.

Bu üç dönüşümün ardından gelen ve bir anlamda en geniş geometriyi sağlayan dönüşüm ise topolojik dönüşümdür (Hacısalıhoğlu, 1998). Topolojik dönüşümlerde geometrik şekiller metrik özelliklerinden tamamen bağımsız olarak dönüşüme tabi olmaktadır. Nitekim topoloji, varlıkların metrik özelliklerinden çok birbirleriyle olan ilişkileri ile ilgilenen bir matematik dalı olarak tarif edilmiştir (Yomralıoğlu, 2000).

Geometrik şekillerin topolojik dönüşümler sonucu korunan özelliklerine topolojik özellikler

denir. Bu özellikleri inceleyen bilim dalına topolojik geometri yada sadece topoloji denir. Bir topolojik dönüşüm ile birbirine dönüştürülebilen iki şekile topolojik eşdeğer'dirler veya homeomorfik'dirler denir. Şekillerin her birine diğerinin topolojik resmi veya homeomorfı denir (Hacısalıhoğlu, 1998). Şekil 2.9'da topolojik anlamda eşdeğer olan bazı şekiller görülmektedir.



Şekil 2.9 Topolojik olarak eşdeğer şekiller

Açıklandığı üzere topoloji, şekillerin büyüklük ve biçim özellikleri ile değil, şekil bozulmaları karşısında değişmeden kalan özellikleri ile ilgilenir (Yomralıoğlu, 2000). Topolojik dönüşümü daha kolay kavramak bakımından “Esnek yüzey” (rubber sheet) örneği verilmektedir. Buna göre geometrik objenin bulunduğu yüzey elastik bir sayfa olarak düşünülür. Katlamamak ve yırtmamak kaydı ile bu sayfayı istenildiği kadar sündürmek, esnetmek yada gevşetmek serbesttir. Bu işlem esnasında geometrik objenin alacağı her bir yeni şekil, bir diğerinin topolojik olarak dönüşüme uğramış halidir (Yaşayan, 2001).

Topolojik dönüşümde ile dönüştürülecek şeklin noktaları, diğer şeklin noktaları ile çakıştırılır; fakat metrik özelliklerin değil, metrik olmayan “ilişkisel” özelliklerin korunması önemlidir. Böylece şekiller değişmeye uğrarlar, fakat topolojik özellikleri korunur. Örneğin, bir karenin bir çember üzerine izdüşürülmesi veya tersine bir çemberin bir kare üzerine izdüşürülmesi birer topolojik dönüşümdür (Şekil 2.10). Burada dönüşüm birebirdir ve uzunlukları korumaz. Şekil deforme olmakta, bununla beraber şekiller üzerindeki noktalara ait sıralama, yani birbirleri ile olan ilişkileri korunmaktadır. Basit kapalı bir eğri olma özelliği de korunur,

nitekim kare ve çember kendi kendilerini kesmeyen birer eğridirler. Bütün topolojik dönüşümlerde basit kapalı şekiller yine kapalı şekil olarak kalırlar.



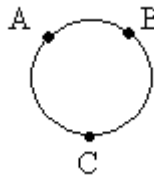
Şekil 2.10 Topolojik dönüşüm

Şekil 2.11'deki birbirinin topolojik eşdeğeri olan her iki şekilde de görüldüğü gibi, topolojik dönüşümlerde üzerindeki noktaların sırası, yani lineer sıralama da korunur. Burada noktalar ABC yada CBA sırasındadır denir. Fakat noktalar kesinlikle ACB, BCA, BAC, CAB şeklindeki sıralamalara uymazlar.



Şekil 2.11 Topolojik dönüşümde lineer sıralama

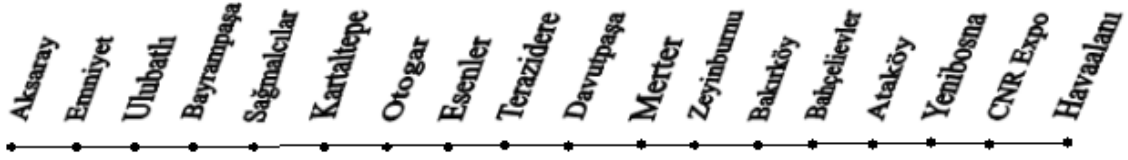
Benzer yürütme Şekil 2.12'deki çember için yapılırsa, noktaların sıralamaları için ABC, BCA, CAB, CBA, BAC, ACB önermelerinin hepsi de doğru olacaktır. Dolayısı ile bir doğru yada topolojik eşdeğeri olan bir şekil için üzerindeki 3 nokta için sadece iki sıra söz konusu olmasında rağmen, çember üzerindeki üç nokta için altı sıra söz konusudur. Lineer sıradan farklı olarak bu sıraya dairesel sıra denir ve tüm basit kapalı şekillerdeki sıralama daireseldir.



Şekil 2.12 Topolojik dönüşümde dairesel sıralama

Konu basit bir örnekle somutlaştırılırsa, metrolarda, yolcuları bilgilendirmek amacı ile çıkış kapılarının üstündeki, durakların dizilişini gösteren şemalar aslında tamamen topolojik bir yaklaşımla çizilmiştir. Şekil 2.13'de de görüldüğü gibi, söz konusu olan sadece durakların sıralanışdır ve şemanın bu haliyle yolculara verdiği bilgi hangi duraktan sonra hangisinin geldiğidir.



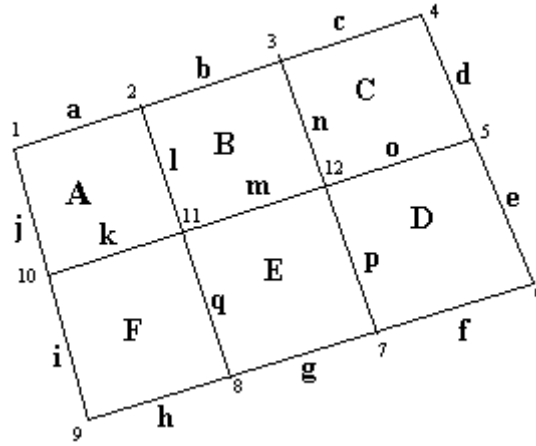


Şekil 2.13 Metro duraklarının topolojik yaklaşım ile gösterimi

Duraklar arasındaki mesafe, birbirlerine göre doğrultuları, yönleri yani metrik bilgilerin tamamı ihmal edilmiş ve metronun yol haritası topolojik bir dönüşüm geçirerek yukarıdaki hale getirilmiştir. Yine benzer şekilde, kapalı şekiller üzerindeki noktaların sıralanışı ile ilgili olarak, ring seferi yapan bir otobüs örneği göz önüne alınabilir.

### 2.2.2 CBS Açısından Topoloji

Bilgisayar grafik teknikleri açısından bir haritayı “görüntülemek” için gerekli olan asgari veri, köşe noktalarına ait koordinatlar ve bu noktaları birleştirecek olan doğrulara ait bilgilerdir. Örneğin Şekil 2.14’deki imar adası bilgisayar ekranında görüntülenmek istendiğinde, Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’deki veriler şekli çizmek için yeterli olacaktır. Buna göre çizgilerin başlangıç ve bitiş noktalarını Çizelge 2.2’den, koordinatlarını ise Çizelge 2.1’den alarak imar adası görselleştirilebilir.



Şekil 2.14 İmar adası

Çizelge 2.1 Koordinatlar

N	Y	X
1	..	..
2	..	..
3	..	..

Çizelge 2.2 Hatlar

Hat	Başlangıç N	Bitiş N
a	1	2
b	2	3
c	3	4
...		

Çizelge 2.3 Alanlar

Parsel No	Çevreleyen Hatlar
A	a, l, k, j
B	b, n, m, l
C	c, d, o, n
..	...

Kullanıcı, ekrandaki bu çizime baktığında “Bu imar adasında kaç parsel var?”, “Şu parselin komşusu hangi parsellerdir?” gibi soruların cevaplarını kolayca verebilir. Fakat şekli görüntüleyebildiği halde, Çizelge 2.1 ve 2.2 deki bilgileri kullanarak yukarıda geçen soruları, bilgisayarın cevaplayabilmesi mümkün değildir. Cevaplayabilmesi için, Çizelge 2.3’de görülen ilave verilerin de bilgisayara girilmesi gerekir. Böylece, Çizelge 2.3’teki poligonlardan, sınırları ortak olanları belirleyerek komşu parseller hakkında bilgi verebilir. Yada “Bu adada kaç parsel var?”, “Şu parselin sınır çizgileri hangileridir?” gibi analizleri sonuçlandırabilir. Yine, parsellerin çevre ve alanlarını hesaplayabilmek için Çizelge 2.3 deki verilerin girilmiş olması zorunludur.

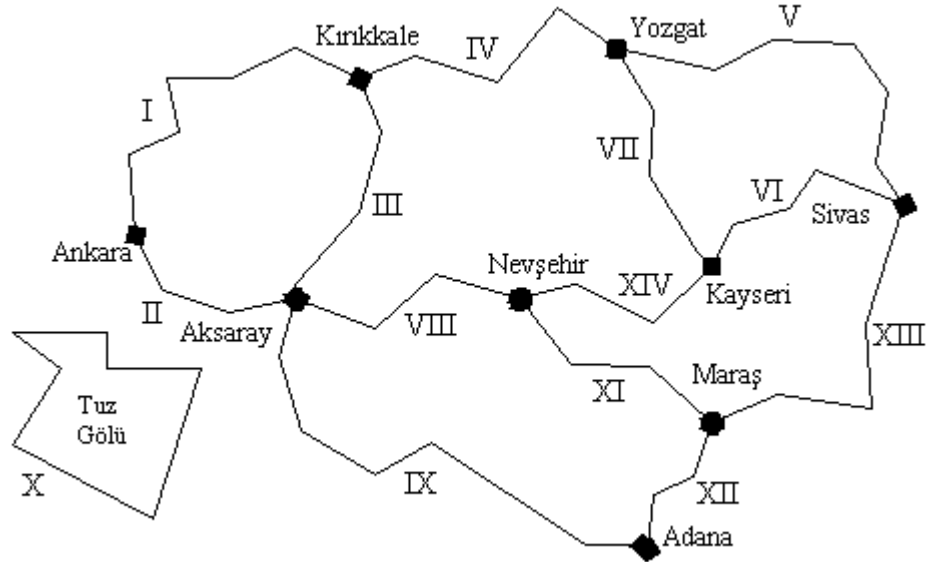
Yukarıdaki örnek dikkatle incelenirse Çizelge 2.1’deki verilerin metrik bilgiler, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’deki verilerin ise topolojik özellikler olduğu görülecektir. Gerçekten de, Bölüm 2.2.1’de açılanan “Esnek yüzey” tekniği uygulanır, şekil elastik bir yüzeye çizilip, esnetilerek, deformasyona uğratılırsa, koordinatların değiştiği, fakat Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’te belirlenen topolojik ilişkilerin korunduğu görülecektir. Alansal detaylar, yine aynı hatlarla çevrili kapalı alan olarak kalacak ve çizgilerin uç noktaları da kesinlikle değişmeyecektir (Karaş ve Batuk, 2005).

Topoloji, aslında şekle bakan kimse tarafından ortada olan şeylerin matematiksel olarak ifadesinden başka bir şey değildir. Sonuç olarak CBS açısından bir tanım yapmak gerekirse: “Topoloji, coğrafi varlıkların birbiriyle nasıl ve ne şekilde ilişkilendirildiğini geometriden bağımsız şekilde gösterme biçimidir” denebilir (Yomralıoğlu, 2000).

### 2.2.2.1 CBS’nde Topolojik Veri Yapıları

CBS’de topoloji konusu bir başka örnekle daha da detaylandırılırsa, Şekil 2.15’deki haritaya bakan bir kişi, Ankara’dan Sivas’a ulaşmak için en kısa yolun Ankara-Aksaray-Nevşehir-Kayseri-Sivas güzergahından gitmek olduğunu rahatlıkla görecektir. Bu bilgi haritayı inceleyen bir kimse için apaçık ortadadır.

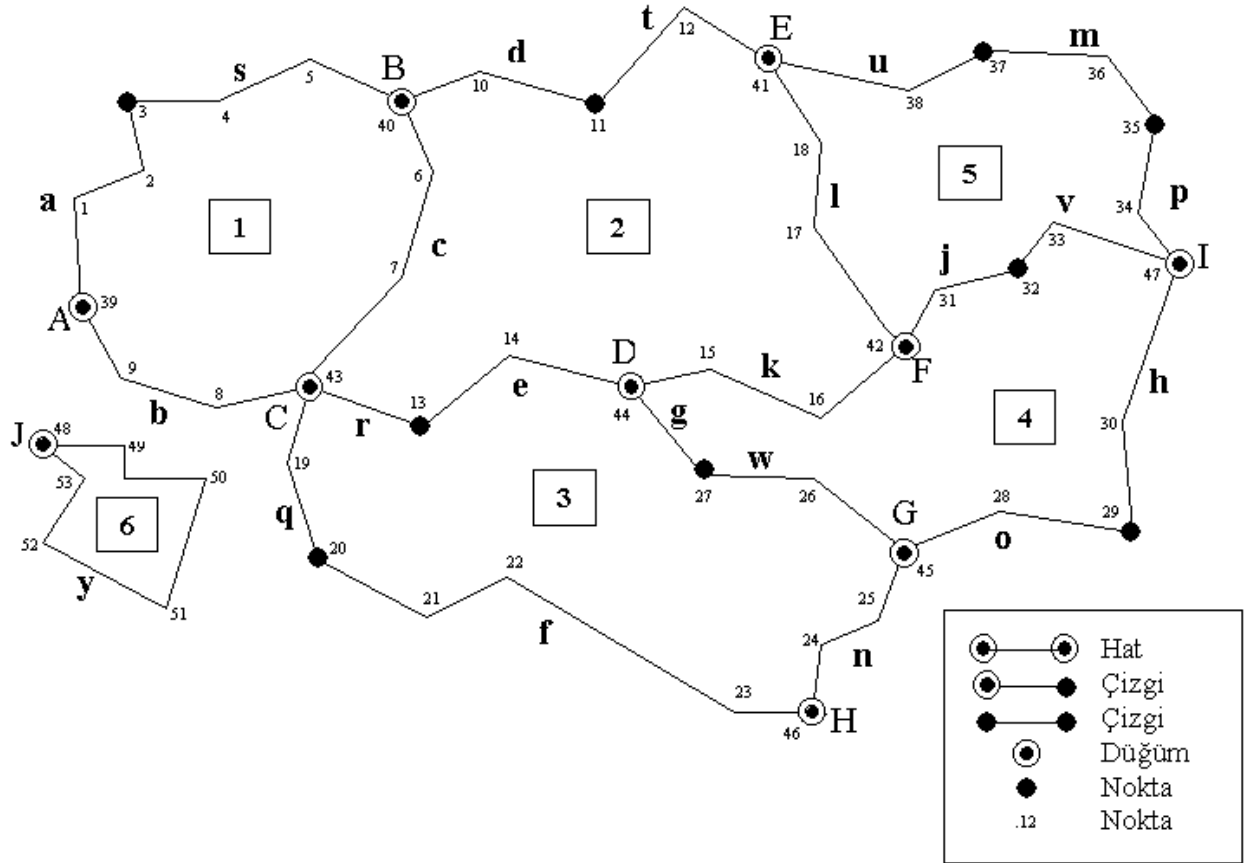
Bölüm 2.2.2’de açıklanan örnekte olduğu gibi şekli bilgisayar ekranında “görüntülemek” için kırık noktalara ait koordinatlar ile bu noktaları birleştiren doğrulara ait bilgiler yeterlidir. Fakat bilgisayardan, Ankara’dan Sivas’a giden “en kısa yol”u bulması istendiğinde söz konusu veriler bu analizi yapmak için yetersiz kalacaktır. Aynı şekilde alan ve komşuluk ilişkilerini de bu verilerle elde etmek mümkün değildir. Dolayısı ile söz konusu analizleri yapabilecek veri yapılarına ihtiyaç vardır.



Şekil 2.15 Şehirler arası yol ağı

Yukarıdaki örnekte şehir isimleri ile ifade edilmiş olan, güzergah tercihinin yapıldığı yol ayrımı noktalarının her biri, gerçekte “düğüm” (node) noktası olarak adlandırılmaktadır. İki düğüm noktasını birleştiren bağlantıya ise “hat” (arc) adı verilmektedir.

Bu tanımlar göz önüne alınarak, söz konusu analizleri yapabilmek amacıyla yukarıdaki örnek, topolojik olarak ifade edilir ve veri yapıları oluşturulursa Şekil 2.16 ve Çizelge 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 ve 2.8 elde edilecektir.



Şekil 2.16 Alanlar, hatlar, düğümler, çizgiler ve noktalar

Çizelge 2.4 Koordinatlar

Nokta No	Y	X
1	..	..
2	..	..
3	..	..
..	..	..

Çizelge 2.5 Çizgiler

Çizgi No	Çizgileri Oluşturan Noktalar
a	39, 1, 2, 3
b	39, 9, 8, 43
c	40, 6, 7, 43
..	..
s	3, 4, 5, 40
..	..
y	<b>48, 49, 50, 51, 52, 53, 48</b>

Çizelge 2.6 Hat-Düğüm Topolojik veri yapısı

Hat No	Başlangıç Düzümü	Bitiş Düzümü	Hattı oluşturan çizgiler
I	A	B	a, s
II	A	C	b
III	B	C	c
IV	B	E	d, t
V	E	I	u, m, p
VI	I	F	v, j
VII	F	E	l
..	..	..	..
X	J	J	y
..	..	..	..
XIV	..	..	..

Çizelge 2.7 Poligon-Hat Topolojik veri yapısı

Poligon No	Çevreleyen Hatlar
1	I, II, III
..	..
5	V, VI, VII
..	..
6	X

Çizelge 2.8 Sol-Sağ topolojik veri yapısı

Hat No	Sol Poligon	Sağ Poligon
..	..	..
III	2	1
VI	4	5
..	..	..

### 2.2.2.1.1 Hat-Düğüm (Arc-Node) Topolojik Veri Yapısı

Çizelge 2.4 ve 2.5, Şekil 2.16'daki çizgileri ve bu çizgileri oluşturan kırık noktaların koordinatlarını, Çizelge 2.6 ise her bir hattın başlangıç ve bitiş düğüm noktaları ile bu hattı oluşturan çizgi numaralarını içermektedir. Dolayısı ile Çizelge 2.4 haritaya ait metrik özellikleri, Çizelge 2.6 ise topolojik özellikleri vermektedir.

Ankara ve Sivas'ı temsil eden A ve I noktaları arasındaki en kısa mesafenin analiz edilmesi istendiğinde, Çizelge 2.4'den elde edilecek koordinatlarla çizgilerin, buradan da Çizelge 2.6'daki ondört hattın her birinin uzunluğu hesaplanacak, daha sonra bu hatların olabilecek tüm kombinasyonları denenerek A ve I arasındaki en kısa yol ortaya çıkarılacaktır.

Çizelge 2.6'da tanımlanmış olan veri yapısına "Hat-Düğüm (arc-node) topolojik veri yapısı" denmektedir ve bağlantı yapısını (connectivity) bilgisayarda saklayan bir topolojik veri

yapısıdır (Yomralıoğlu, 2000). Bu yapı ile metro-demiryolu güzergahları ile istasyonlar arasındaki ilişkilerle, kanalizasyon, su, elektrik, telefon hattı, akarsu-yol kesişimi gibi, bağlantı yapısına sahip her türden ağ analizlerinin yapılması mümkün olmaktadır.

### 2.2.2.1.2 Poligon-Hat (Polygon-Arc) Topolojik Veri Yapısı

Hat-Düğüm topolojik veri yapısı optimum güzergah analizlerine yanıt vermekle birlikte, bu veri yapısında şu türden soruların karşılıkları yoktur (Şekil 2.16'daki alanlar birer mahalle olarak düşünülürse):

- 2 no'lu mahallenin çevresinden hangi yollar geçmektedir?
- 3 no'lu mahallenin komşuları hangi mahallelerdir?
- Bu şehirde toplam kaç mahalle vardır ve bunlar nelerdir?

Çizelge 2.7'te tanımlanmış olan ve bu türden sorulara cevap veren veri yapısına "Poligon-Hat (polygon-arc) topolojik veri yapısı" denmektedir. Poligon-Hat topolojik veri yapısı, kapalı alanların tanımlanmasını (area definition) ve bunların bilgisayarda saklanmasını sağlayan bir veri yapısıdır. Poligonlar birer kapalı şekildir ve sınırlarını hatlar (arc) belirler. Buna göre, numaralandırılan her bir poligona ait, o poligonu çevreleyen hatların bir listesi oluşturulur. Örneğin, Çizelge 2.7'ye bakıldığında Şekil 2.16'daki 5 numaralı poligonu çevreleyen hatların V,VI, ve VII numaralı hatlar olduğu görülecektir. Bu yaklaşım aynı zamanda, özellikle poligon bindirmesini ve aynı sınırı paylaşan poligonların sınır koordinatlarının tekrarlanmasını önlemektedir. Örneğin III numaralı hat 1 ve 2 numaralı poligonların sınırını oluşturmasına karşın, bu hattı oluşturan noktalara ait koordinatlar Çizelge 2.4'de sadece bir kez yer almaktadır. Poligonlar arasında uzun ve karmaşık sınırlar olduğu kabul edilirse, poligon-hat topolojik yaklaşımıyla, bu sınırdaki koordinatlar bilgisayar belleğine bir kez kayıt edilmiş olacaktır (Yomralıoğlu, 2000).

### 2.2.2.1.3 Sol-Sağ (Left-Right) topolojik veri yapısı

Poligon-Hat topolojik veri yapısında komşulukları belirlemek mümkün olmakla birlikte, bu işlem poligonları çevreleyen ortak hat(lar)ın olup olmadığı analiz edilerek yapılmakta, bu da oldukça vakit almaktadır. Bundan başka bu model ile sınırın hangi tarafında, hangi poligonun olduğunu belirlemek de mümkün değildir. "Bu güzergah boyunca yolun sağında kalan mahalleler hangileridir?" gibi bir soruyu ancak Çizelge 2.8'de görülen "Sol-Sağ (left-right) topolojik veri yapısı" cevaplayacaktır. Bu veri yapısı geometrik varlıklar arasındaki

komşuluk ilişkilerini (contiguity) bilgisayar ortamında saklayan topolojik veri yapısıdır. Sol-Sağ (left-right) topolojik veri yapısında, komşu poligonlar aralarındaki hattı ortak bir şekilde paylaşırlar.

### 2.2.2.2 Topolojisiz bir CBS Mümkün mü?

Görüldüğü gibi topolojik veri yapıları, çeşitli konumsal analizlerin yapılabilmesini sağlar. Fakat, bir coğrafi bilgi sisteminde söz konusu topolojik veri yapılarının bulunması olmazsa olmaz koşul mudur, topolojisiz bir CBS mümkün olamaz mı?

Bölüm 2.2.2.1'deki örnek göz önüne alındığında, en kısa yol analizi dikkatle incelenirse, sadece Çizelge 2.4 ve 2.5'deki verilerle de bu analizin yapılabileceği görülecektir. Bunun için, çizgilerin bitiş noktalarının koordinatlarının, diğer tüm çizgilerin başlangıç noktalarının koordinatları ile eşleşip eşleşmediğine bakılarak, birbirlerini takip edip etmedikleri araştırılabilir ve böylece değişik alternatif yollardan hedef noktaya ulaşılabilir. Fakat, binlerce belki on binlerce çizgiden oluşan bir ağ üzerindeki bir CBS düşünüldüğünde, bu şekilde bir analizin çok zor olacağı, bu analizi sonuçlandırmak için bilgisayarın oldukça karmaşık algoritmalar uygulaması gerekeceği, performansının ve işlem zamanının kat kat artacağı açıktır.

Benzer şekilde Bölüm 2.2.2.1.3'de de belirtildiği gibi poligon-hat topolojik veri yapısı ile komşuluk analizlerinin yapılabilmesi mümkün olmakla birlikte, bu işlem oldukça uzun ve vakit alıcıdır ve de sol-sağ veri yapısı olmadan tek başına yetersiz kalmaktadır.

Bazı analizlerin yapılması için ise topolojik ilişkilerin kurulması kesinlikle şarttır. Örneğin poligonların tanımlanmadığı bir sistemde, hiç bir şekilde alansal analizlerin yapılması mümkün değildir.

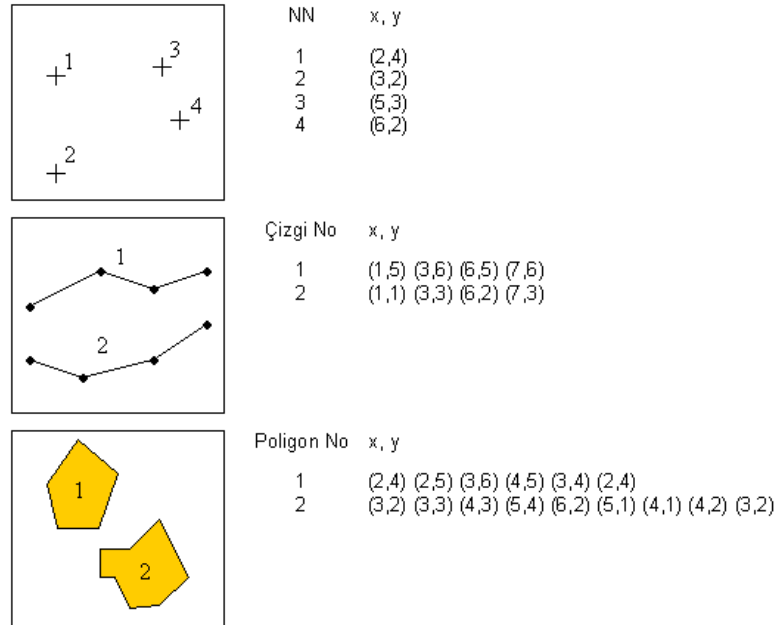
Dolayısı ile, bazı ilişkileri kayıt altına almak gerekli olmasa da, topolojiden tamamen bağımsız bir CBS yazılımı düşünmek mümkün değildir. Bununla birlikte değişik CBS yazılımlarının analiz yetenekleri ve performansları arasındaki farkların, seçilen veri modellerinden yada yukarıdaki örneklerde olduğu gibi, ilişkileri topolojik veri yapısı ile “depolamak” ile, işlem zamanında ortaya çıkarmak tercihinden kaynaklandığını da belirtmek gerekir.

Sonuç olarak coğrafi bilgi sistemlerinde konumsal ilişkileri topolojik veri yapısı ile depolamak (Şeker, 2001);

- Konumsal analizlerin (etkin bir şekilde) gerçekleştirilmesine,
- Çakışıklık (detay tanımlarında ortak hat ve düğümlerin yer alması) bir kez tanımlandığından, ortak detayların bir yerde toplanması suretiyle veri tekrarının önüne geçilmesine,
- Geometrik verilerin kendi içinde tutarlı kalmasına ve
- Veriye çok daha hızlı erişilmesine sebep olur.

### 2.2.2.3 Düğüm (Node) ve Hat (Arc) Kavramları Üzerine

CBS ile ilgili çeşitli Türkçe kaynaklarda İngilizce'deki karşılığına uygun olarak "node" kelimesi için "düğüm" kavramı kullanılırken, "arc" kelimesi için "çizgi" kavramının tercih edildiği görülmektedir (Yomralıoğlu, 2000). Bununla birlikte aynı kaynaklarda, CBS'deki vektörel veri yapıları sınıflandırılırken, "line" kelimesinin karşılığı için de "çizgi" kavramı kullanılmaktadır (Şekil 2.17). Oysa vektörel veri yapılarındaki "line" ile topolojik veri yapılarındaki "arc" birbirinden farklı kavramlardır ve her ikisinin de "çizgi" olarak çevrilmesi bir kavram kargaşasına neden olmaktadır.



Şekil 2.17 Vektörel veri yapıları

Her iki kelime için de çizgi kavramının kullanılmasının bir sebebi de konumsal veri tabanlarındaki kayıt şekillerinin birbirine benzemesidir. Pratikteki kullanımında her ikisi de koordinat çiftlerinden oluşan bir dizi gibi görünse de, bu doğru değildir. Çizgiler (line) bir



yada birden fazla doğru parçasının birleşiminden oluşan vektörel yapılardır. Şekil 2.16'da görüldüğü üzere, iki düğümün arasını birleştiren hat (arc) ise, sadece bir çizgiden oluşabileceği gibi (B-C hattı), birden fazla çizgiden de oluşabilir (E-I hattı). Ayrıca hat her zaman çizgi yapısında da olmayabilir, poligon yapısı özelliği de gösterebilir (J-J hattı).

Hepsinin ötesinde, aslında teorik olarak da bu iki kavram birbirinden çok farklıdır. Esasen hatların ve düğümlerin geometrik yerinin, şeklinin bir önemi de yoktur. Bölüm 2.2.1'de de belirtildiği gibi, hatlar sadece düğümlerin arasındaki topolojik ilişkileri temsil ederler. Nitekim "arc" kelimesinin sözlük anlamı da "yay", "kavis" dir. Dolayısı ile bir hattın bahsedildiğinde onun geometrik yerinden çok, hangi düğümleri birleştirdiğine bakılmalıdır. Geometrik yeri ile ilgili bilgiler ise o hattın kapsadığı çizgilerden çıkarılmalıdır.

Yukarıda da belirtildiği gibi, "arc" kelimesinin Türkçe karşılığı olarak genellikle "çizgi" kavramı kullanılmakla birlikte, daha farklı kelimeleri tercih edenler de olmuştur. Kimi İngilizce kaynaklarda "arc" kelimesinin yerine, ender olarak "link" yada "edge" kelimelerinin de kullanılmasından hareketle, Bildirici (2003) "bağlantı çizgisi" kelime çiftini kullanmıştır. Bank (1997) ise "edge" kelimesini esas alarak "kenar" demeyi tercih etmiştir. Erden vd. (2003) ise "hat" kavramını kullanmışlardır.

Sözlük anlamı "yay", "kavis" anlamına gelmekle birlikte, ağ topolojisinde (arc-node topology) "arc"dan bahsedilirken (Bkz. Bölüm 2.2.2.1.1), daha çok "güzergah" anlamı yüklenmektedir. Örneğin en kısa yol analizlerinde, düğüm noktalarının arasındaki arclardan, yani güzergahlardan en kısası belirlenmektedir. Alan topolojisi (polygon-arc topology) düşünüldüğünde ise (Bkz. Bölüm 2.2.2.1.2), "arc" kavramı ile iki poligonun arasındaki ortak sınır kastedilmektedir.







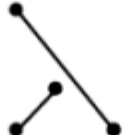
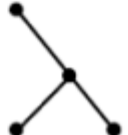
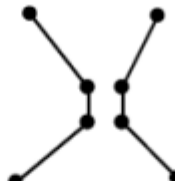

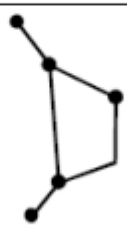


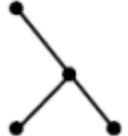
Yukarıda sayılan tüm bu sebeplerle, tez kapsamında, "arc" kelimesinin Türkçe literatürdeki karşılığı olarak, Erden vd.'nin (2003) de kullandığı gibi, hem sınır hem de güzergah anlamına gelebilen "hat" kelimesi önerilmekte ve tercih edilmektedir.

#### **2.2.2.4 Sayısallaştırılan Verilerdeki Topolojik Hataların Giderilmesi**

Bir CBS'deki topolojik veriler genellikle sayısallaştırma yoluyla elde edilirler. Sayısallaştırma işlemi sayısallaştırıcı tablet yardımı ile elle yapılabileceği gibi, raster verilerin vektörizasyonu şeklinde de gerçekleştirilebilir. Sorunsuz ve sağlıklı bir topoloji ancak, sayısallaştırma hatalarından arındırılmış verilerle kurulabilir. Sayısallaştırma ne kadar dikkatli yapılırsa yapılsın hatasız olamaz. Bu yüzden sayısallaştırmanın ardından çizgi temizleme işlemleri

gerçekleştirilerek, verilen toleranslar dahilinde çalışılan veri kontrol edilmeli ve olası topolojik hatalar otomatik olarak düzeltilmelidir. Bu tür çizgi temizleme işlemlerinden bazıları Çizelge 2.9’da görülmektedir.

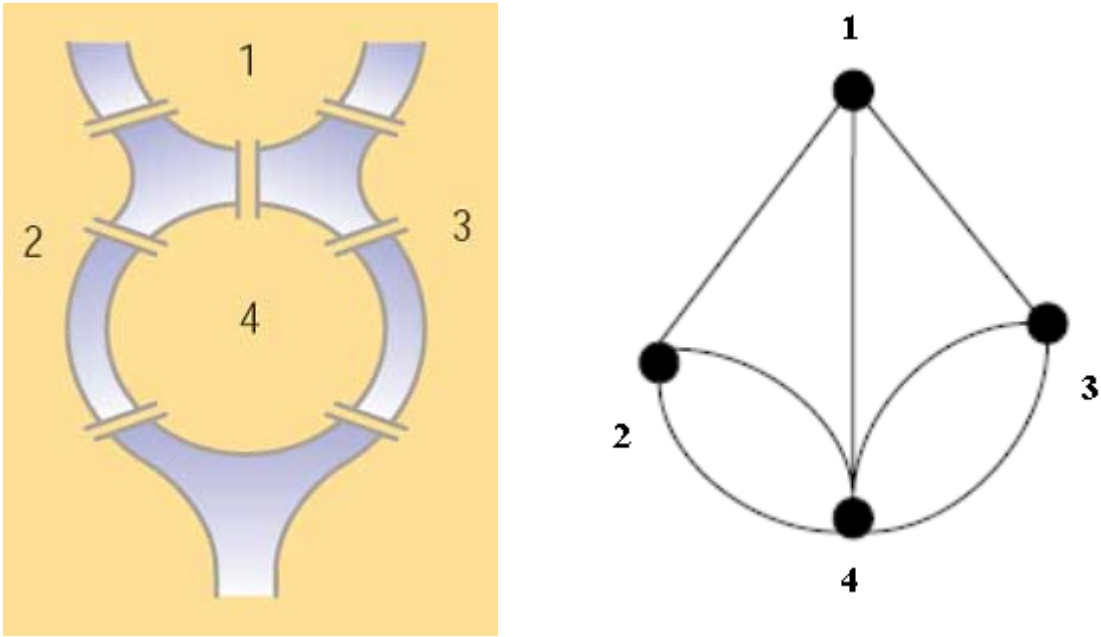
Çizelge 2.9 Çizgi temizleme işlemi ile topolojik hataların giderilmesi (Bildirici, 2003)

İşlem	Temizleme öncesi	Temizleme sonrası
Çift (çakışık) objelerin silinmesi		
Kısa parçaların kaldırılması		
Kesişen objelerin kopartılması, kesişim noktasında düğüm noktası oluşturularak 4 farklı doğru parçası oluşturulması		
Erişmeyen (Undershoot) doğru parçalarının eriştirilerek kesişimlerinin sağlanması		
Düğüm noktalarının düzeltilmesi		
Pseudo (yalancı-sözde) düğüm noktalarının kaldırılması		
Sarkan (Overshoot) doğru parçalarının fazlalıklarının kırılarak kesişimlerinin sağlanması		

### 2.3 Graf Teorisi

Bölüm 2.2.1’de açıklanan ve bugünkü matematiğin önemli bir dalı olan topolojinin doğmasına, Euler’in 1736 yılında yazdığı “Königsberg’in yedi köprüsü” isimli meşhur

makalesi sebep olmuştur. Şekil 2.18a'da görüldüğü üzere, o yıllarda Königsberg'deki Pregel nehri Kneiphof adasının iki yanından akmakta ve üzerinde yedi farklı köprü bulunmaktaydı. Şehir halkı, her bir köprüden sadece bir kez geçerek tüm kıyıları dolaşmanın ve tekrar başlangıç noktasına dönmenin mümkün olup olmadığını merak ediyordu. İsviçreli matematikçi Leonhard Euler Şekil 2.18b'de görüldüğü gibi, önce problemi hat ve düğümlerden oluşan bir yapıya dönüştürdü. Sonradan graf adı verilen ve topolojinin de temellerini oluşturan bu yapıyı kullanarak problemin çözümüne ulaştı. Königsberg halkı aradıkları yolu bulamamakta haklıydılar, zira böyle bir yol yoktu (Theobald, 2001).

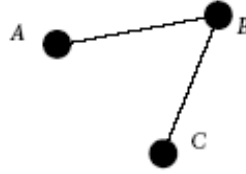


Şekil 2.18 (a) Königsberg'in yedi köprüsü (Theobald, 2001), (b) Graf gösterimi

Aralarında söyleyiş bakımından benzerlik olsa da grafların herhangi bir fonksiyonun grafiği ile ilgisi yoktur. Basitçe bir graf, düğüm olarak adlandırılan noktalar ve bu noktaları birleştiren hatlardan oluşan ve geometrik bir bilgi vermeyip, sadece düğümler arasındaki ilişkiyi gösteren çizgiler topluluğudur (Worboys, 1995).

Pek çok problem, objeler ve onlar arasındaki bağlantılar/ilişkiler kullanılarak biçimlendirilir. Örneğin, Berlin'le Antalya ve Chicago arasında uçak seferi varsa, ama Antalya'yla Chicago arasında uçak seferi yoksa bu durum, Şekil 2.19'daki gibi gösterilebilir. Burada düğümler şehirleri, düğümlerin arasındaki hatlar da "uçak seferi var" ilişkisini simgeler. Aynı şekil üç kişi arasındaki tanışıklık ilişkisini göstermek için de kullanılabilir. Örneğin Barış, Ahmet ve Canan'ı tanıyor, fakat Ahmet'le Canan birbirini tanımıyorsa, bu durumu gösteren graf Şekil 2.19'daki gibi öncekiyle aynı olacak, fakat bu kez düğümler insanları, hatlar da tanışıklık

ilişkisini simgeleyecektir (Küçükçifçi vd., 2003).

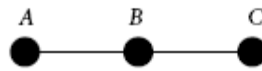


Şekil 2.19 Objeler ve aralarındaki ilişkiler

Objeler arasındaki bağlantıların önemli rol oynadığı bir diğer örnek de elektrik devreleridir. Bilgisayarda temsil edilen haliyle devreyi oluşturan direnç, kapasitor gibi elemanlar (objeler) ile bunlar arasındaki bağlantıların özelliklerine bakılarak, “Bütün elemanlar birbirine bağlı mı?”, “Bu devre çalışır mı?” gibi sorular cevaplandırılabilir.

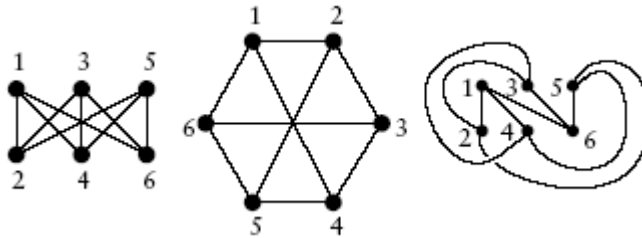
Graf, yukarıdaki örneklerdeki gibi durumları modelleyen matematiksel bir objedir. Graf teorisi, birleştirici (combinatorial) matematiğin, üzerinde uzun yıllardan beri çalışılan bir temel alt dalıdır. Grafların önemli ve yararlı özelliklerinden pek çoğu ispatlanmış olmasına karşın, hala çözülmeyi bekleyen birçok zor problemler mevcuttur [2].

Hat ve düğümlerden oluşan graflar, geometrik değil ilişkisel bilgiler içerirler. Hatların boy ve şeklinin, doğrusal ya da eğrisel oluşunun ve düğümlerin konumunun bir önemi yoktur. Her bir hat iki düğüm arasındaki bir ilişkiyi simgelediğinden, önemli olan tek şey var olup olmadıklarıdır. Dolayısı ile Şekil 2.19’da görülen graf daha sade bir yapıda Şekil 2.20’deki gibi de çizilebilir.



Şekil 2.20 Aynı grafin farklı gösterimi

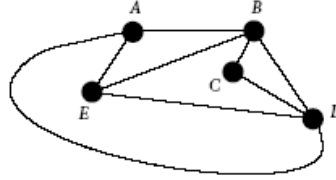
Benzer şekilde, Şekil 2.21’de aynı grafin farklı yapılarda çizilmiş şekilleri görülmektedir:



Şekil 2.21 Birbirine eşdeğer graflar (Küçükçifçi vd., 2003)

Bir graftaki herhangi bir **düğümün derecesi**, kendisini diğer düğümlere birleştiren hatların

sayısı kadardır. Bu düğümlerden derecesi en büyük olanı ise, aynı zamanda **grafın derecesini** belirler (West, 1996). Buna göre, Şekil 2.22'deki graf için, C düğümünün derecesi 2, A ve E düğümlerinin derecesi 3, B ve D'nin derecesi ise 4'dür. En büyük derece 4 olduğu için grafın derecesi de 4'dür.



Şekil 2.22 Grafın derecesi

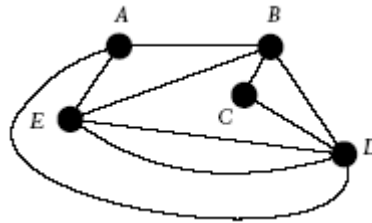
### 2.3.1 Basit Graf

Aynı iki düğümün sadece bir hatla bağlandığı, herhangi bir düğümü yine kendisine bağlayan bir hattın olmadığı, hatların bir değer almadığı ve yönünün tanımlanmadığı, düğüm ve hatların sınıflandırılmadığı graflara basit graf denir. Bu açıdan yukarıdaki örneklerdeki tüm graflar birer basit graftır.

### 2.3.2 Çoklu Graf

İki yada daha fazla düğüm arasında birden fazla hat varsa bu tür graflara çoklu (multi) graf denir.

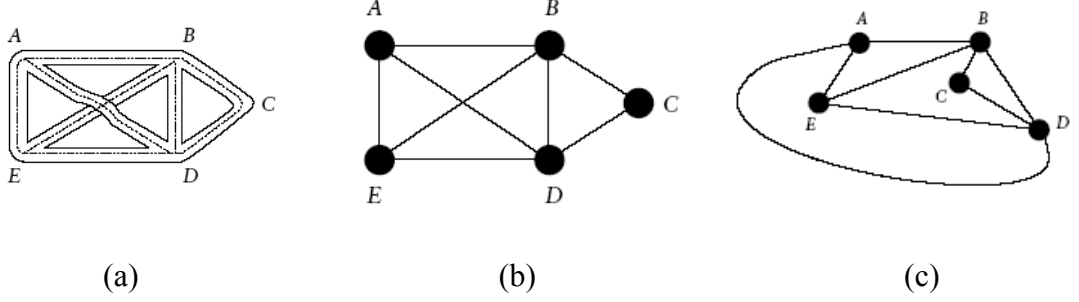
Örneğin iki şehir arasında iki farklı yol varsa, bu durum çoklu grafı temsil eder.



Şekil 2.23 Çoklu graf

### 2.3.3 Düzlemsel Graf

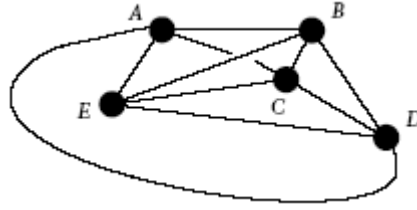
Şekil 2.24a'da görülen yol haritasına ait graf Şekil 2.24b'deki gibi çizilebileceği gibi, kesişmeyen hatlardan oluşacak şekilde Şekil 2.24c'deki gibi de çizilebilir. Bu şekilde birbirini kesmeyen hatlardan oluşacak şekilde çizilebilen graflara düzlemsel graf denir.



Şekil 2.24 Düzlemsel graf (Küçükçifçi vd., 2003)

### 2.3.4 Üç Boyutlu Graf

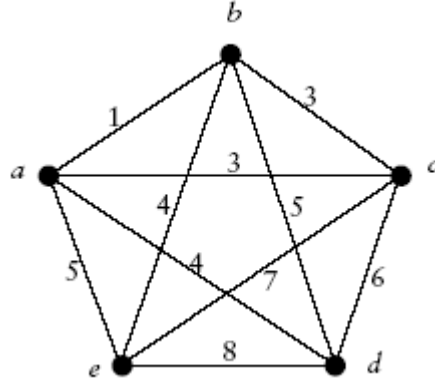
Şekil 2.24'deki C ile A ve E arasında birer hat daha olsaydı, bu graf kesişmeyecek şekilde çizilemezdi ve düzlemsel bir graf olmaktan çıkardı. Bununla birlikte, düzlemsel olmayan graflar, üç boyutlu uzayda ele alındığında hatlarının birbirini kesmeyecek şekilde çizilmesi mümkündür. Örneğin, Şekil 2.24'deki grafa AC ve CE hatları eklendiğinde, üç boyutlu olarak Şekil 2.25'deki gibi çizilebilecektir (Küçükçifçi vd., 2003).



Şekil 2.25 Üç boyutlu graf

### 2.3.5 Ağırlıklı (Maliyetli) Graf

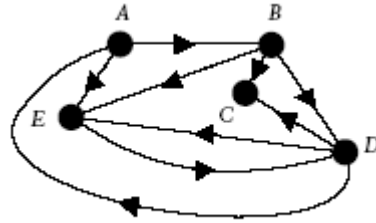
Graf yapısındaki hatlar değer alabilir ve bu değerler grafın yapısına katılabilir. Bir grafın üzerindeki hatların değerleri eşit değilse ve her biri farklı bir değer alabiliyorsa bu tip graflara maliyetli yada ağırlıklı graf (weighted graph) denir (Şekil 2.26). Bütün hatların değeri aynı ise bu graf maliyetli graf olarak anılamaz. Ağırlıkların bir anlamı yoktur ve her hattın değerinin 1 olduğu basit graf gibi değerlendirilir. Şehirlerin arasındaki mesafelerin hatlara değer olarak atandığı yol haritasını temsil eden graflar maliyetli graflar için örnek verilebilir (Çölkesen, 2001). Yada iş akış şemalarındaki, her işin bitirilme süresini gösteren graflar da yine maliyetli graflar için bir başka örnektir.



Şekil 2.26 Maliyetli graf

### 2.3.6 Yönlü graf

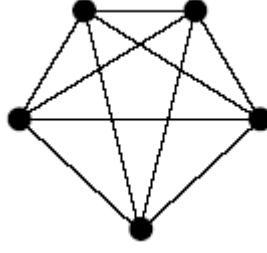
Eğer bir graftaki hatlar yön bilgisine sahipse bu tür graflara yönlü graf (directed graf) denir (Şekil 2.27). Bu yön bilgisi bağlantının nereden başlayıp nereden bittiğini belirtir. Yön bilgisi olan graflarda düğümler arasındaki bağlantının yönü vardır. Eğer iki yönde bağlantı varsa ters yönde iki ayrı hat kullanılır. Graf yapısında bütün kenarlar aynı çeşittir. Yani ya hepsi yönlüdür ya da değildir (Gürpınar, 2005). Yol ağını temsil eden bir grafta trafiğin tek yada çift yönlü oluşu yönlü graflar için bir örnektir.



Şekil 2.27 Yönlü graf

### 2.3.7 Tamamlanmış Graf

Graftaki her bir düğümün diğer tüm düğümlerle arasında bir hat mevcutsa, yani olabilecek tüm hatlara sahipse, bu tür graflara tamamlanmış graf (completed graph) denir (Şekil 2.28). Bu tür bir grafta bütün düğümlerin dereceleri birbirine eşit ve toplam düğüm sayısının bir eksiği kadardır.



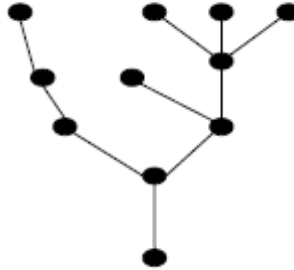
Şekil 2.28 Tamamlanmış graf

### 2.3.8 Döngü

Döngü, başladığı düğüme geri dönen ve aynı düğümden iki kez geçmeyen bir yolculuktur. Bir graftaki hat sayısı düğüm sayısına eşit yada fazlaysa, o graf en az bir döngü içeriyor demektir.

### 2.3.9 Ağaç

İçinde döngü barındırmayan grafa ağaç adı verilir (Şekil 2.29). Ağaca bir hat eklendiğinde mutlaka bir döngü içerir. Bir ağaçtaki hat sayısı düğüm sayısının bir eksiği kadardır.



Şekil 2.29 Ağaç

### 2.3.10 Yol (Path)

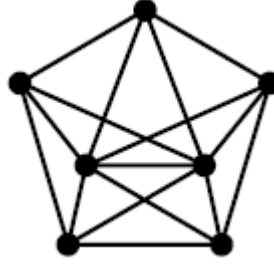
Bir düğümden diğerine gidilirken izlenecek düğümlerin tamamı bir yol oluşturur. Eğer basit bir graf söz konusu ise, yolun uzunluğu, üzerinden geçilen kenar sayısına eşittir. Fakat ağırlıklı graflarda yol uzunluğu, her bir hattın aldığı değerlerin toplamına eşittir.

### 2.3.11 Euler Yolu

Bölüm 2.3'deki "Königsberg'in yedi köprüsü" örneğinde olduğu gibi, bir graftaki tüm hatlardan sadece bir kez geçmek şartıyla (aynı düğümden birden fazla geçilebilir), tüm hatlar dolaşarak başlangıç noktasına geri dönülebiliyorsa bu yola Euler yolu denir (Şekil 2.30). Bir



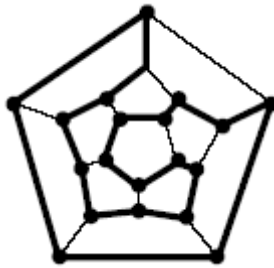
graftaki düğümlerin her birinin de derecesi çift ise bu graf Euler yolu içeriyor demektir.



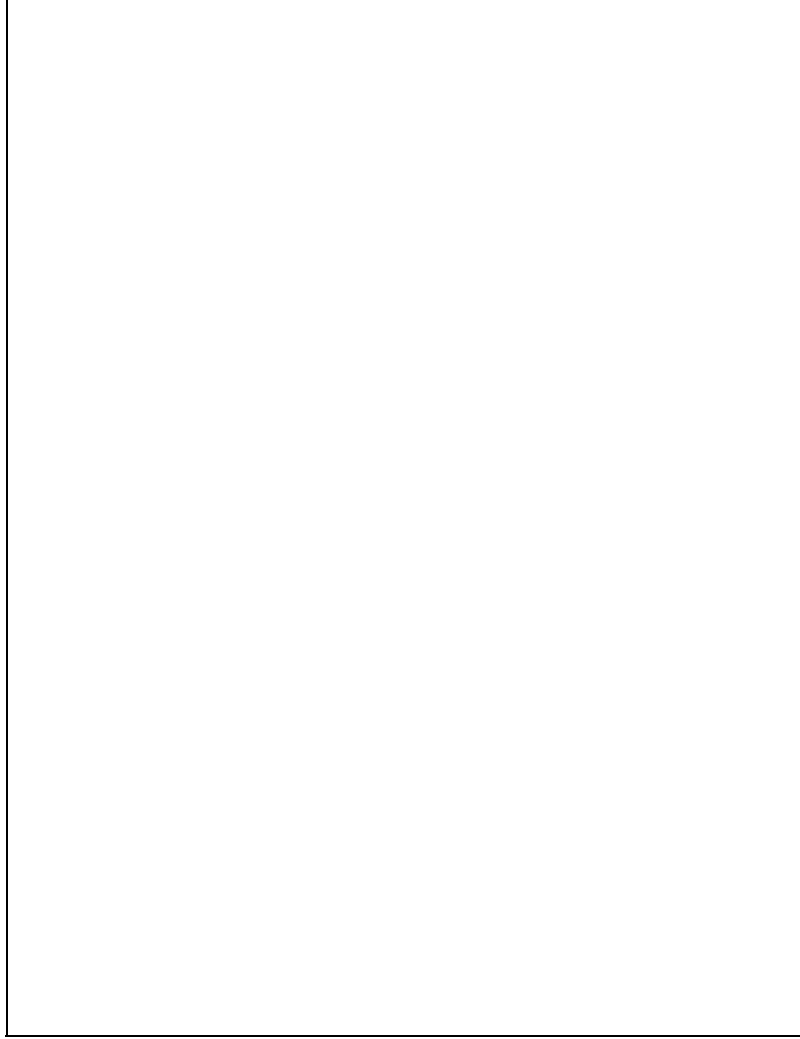
Şekil 2.30 Euler yolu içeren bir graf

### 2.3.12 Hamilton Turu

Hamilton turu, bir graf üzerindeki her düğümden sadece bir kez geçen (dolayısıyla aynı yoldan da sadece bir kez geçen) ve başladığı noktada biten, 19. yüzyılda yaşamış matematikçi William Hamilton'ın adıyla anılan döngüdür (Şekil 2.31) (Sural, 2003). Bir satıcının, bulunduğu şehirden başlayıp, her şehre sadece bir kez uğradıktan sonra başladığı şehre geri dönen en kısa turu gerçekleştirmesini konu alan Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem – TSP), Hamilton turunun en çok kullanıldığı alanlardan biridir. Bu problemde amaç, bir graftaki Hamilton turlarından en kısa olanını bulmaktır (Soğukpınar, 2006). Bugün halen bir çok matematikçi TSP üzerinde çalışmaktadır. Bilgisayar dünyasındaki gelişmelerin de etkisi ile, her geçen gün daha fazla düğüm içeren yeni Hamilton turları oluşturmak için çabalamaktadırlar. 1998 yılında 13509 şehirden oluşan bir A.B.D. turu, 2001 yılında 15112 şehirden oluşan Almanya turu (Şekil 2.32) ve en son olarak da 2004 yılında 24978 şehirden oluşan İsveç turunu çözmeyi başarmışlardır [8]. Bu çözümler ancak, yüksek kapasiteli bilgisayarların sürekli çalışması ile aylar süren işlemlerin ardından üretilebilmektedir.



Şekil 2.31 Hamilton turu

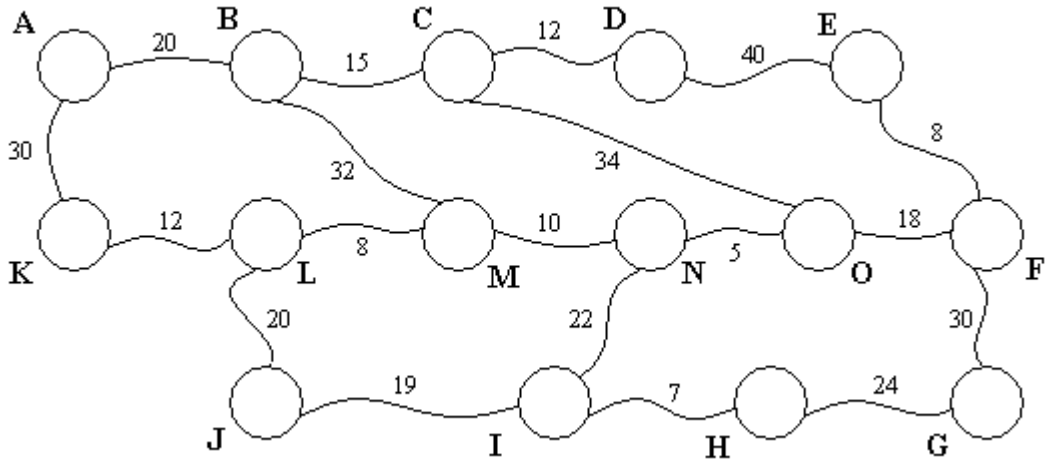


Şekil 2.32 Almanya'daki 15112 şehir için Hamilton turu [8]

### 2.3.13 En Az Dallanan Ağaç

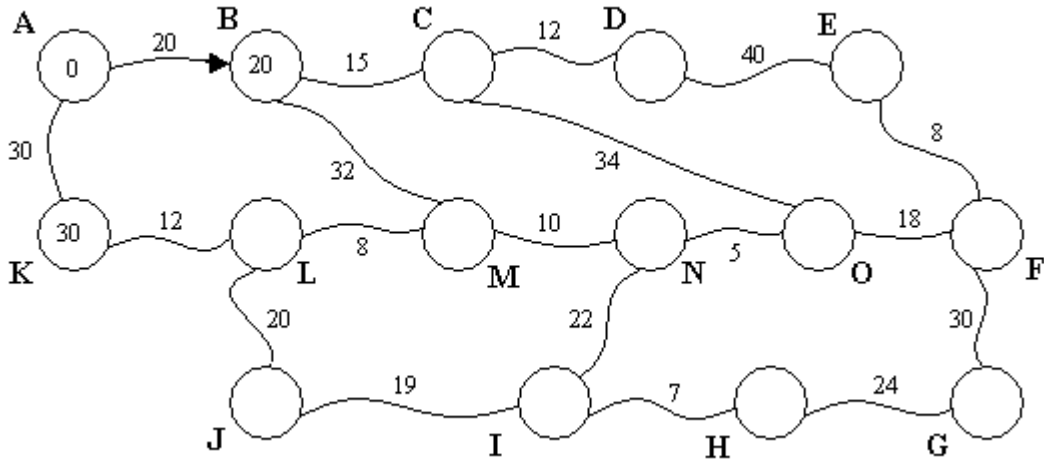
Bir grafin herhangi bir noktasından başlayan en az dallanan ağacı bulmak için, o noktadan itibaren toplam düğüm sayısının bir eksiği kadar iterasyon yapılması gerekir. Bu işlem sırasında varılan her düğümün başlangıç düğümüne (kök düğüm) uzaklığı belirlenir ve kayıt altına alınır. Ardından uzaklığı belirlenen bu düğümlerden en küçüğü işaretlenir. Bir sonraki aşamada aynı işlem işaretlenen düğümden itibaren gerçekleştirilir ve bu şekilde tüm düğümlere ulaşıncaya kadar devam edilir. En az dallanan ağaç bulunarak, kök düğüm ile diğer tüm düğümler arasındaki ulaşım maliyetinin en küçük olması sağlanır.

Konu bir örnek üzerinde detaylandırılacak olursa, Şekil 2.33'deki graf 15 şehirden oluşan ve aralarındaki mesafeleri verilmiş bir yol ağı olsun. A noktası kök düğümü olarak seçildiğinde en az dallanan ağacın bulunması için adım adım şunlar yapılmalıdır:



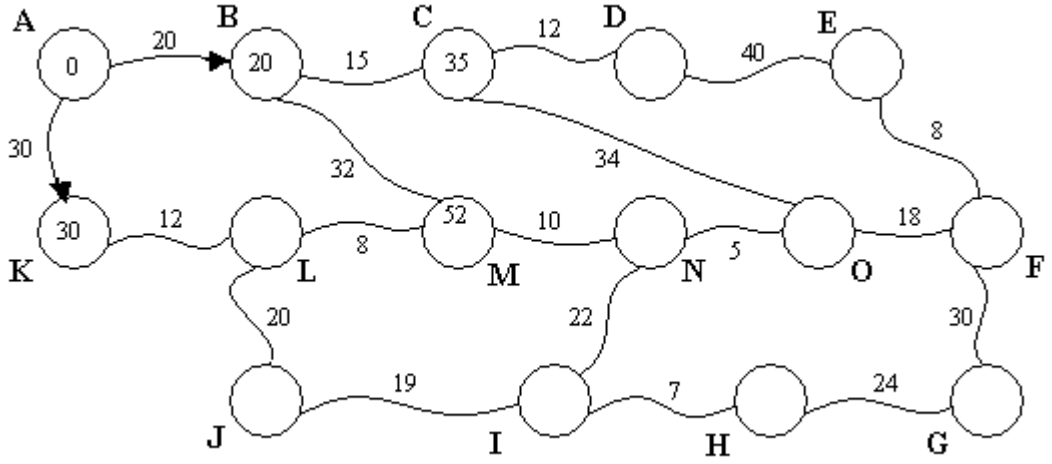
Şekil 2.33 On beş düğümden oluşan bir maliyetli graf

1. A düğümünden yola çıktığında iki alternatif vardır; K ve B düğümleri. Bunların A'ya olan uzaklıkları belirlenir ve bu değerler kendi içlerine yazılır. Ardından değeri küçük olanı, yani B düğümü seçilir ve ok ile işaretlenir (Şekil 2.34).



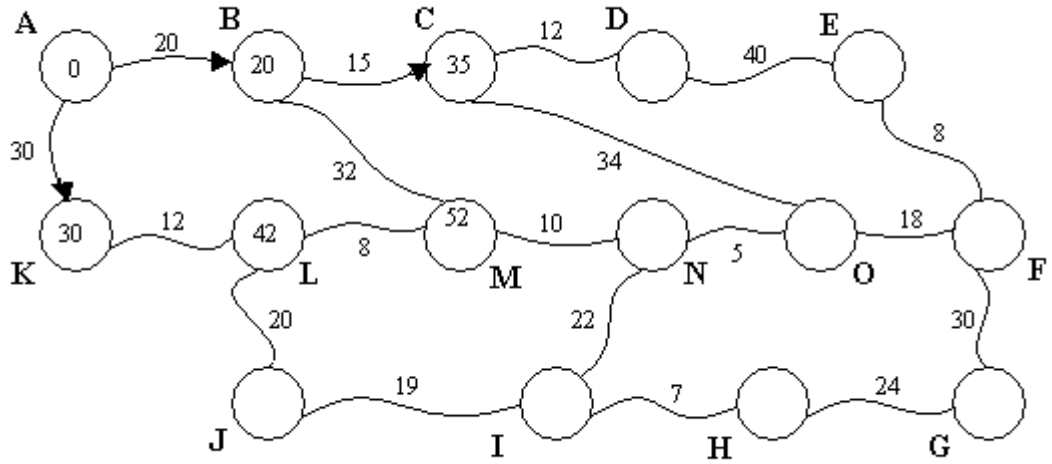
Şekil 2.34 Çember içindeki en küçük değer B düğümüne ait

2. Önceki aşamada işaretlenen düğümden yani B'den sonra gelen düğümlere bakılır ve içlerine uzaklıkları yazılır. Buna göre  $C=35$ ,  $M=52$  değerlerini alır. Ardından kök düğümü (A) ve işaretlenmiş düğümler (B) hariç olmak üzere, içine uzaklık bilgisi yazılmış olan tüm düğümlere bakılır ve en küçüğü işaretlenir. Dolayısı ile  $C=35$ ,  $M=52$  ve  $K=30$  olduğundan K seçilir ve içine yazılı olan değeri veren yol esas olmak üzere, ok ile işaretlenir (Şekil 2.35).



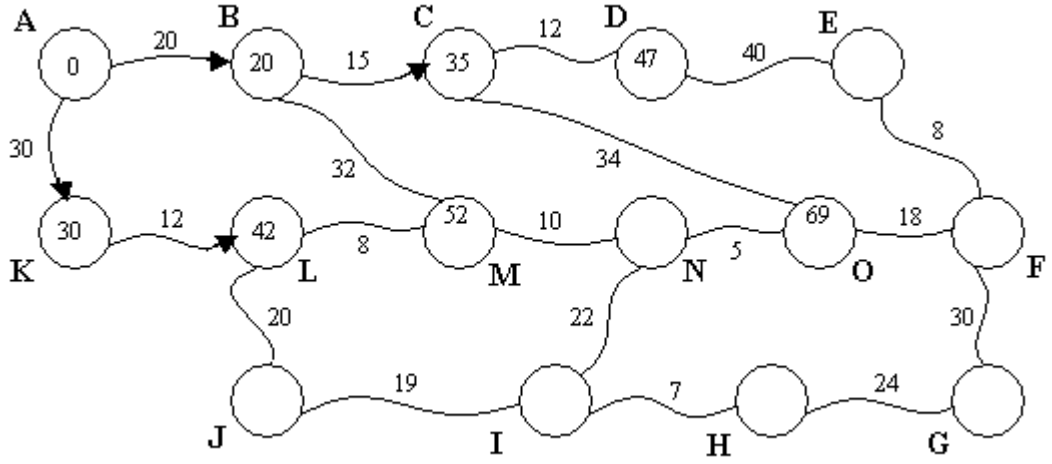
Şekil 2.35 En küçük değere sahip olan düğüm K.

3. Son işaretlenen düğüm K olduğu için onu izleyen düğüm(ler)e bakılır ve uzaklıklar yazılır. Buna göre K'nin ardından gelen tek düğüm olan L, 42 değerini alır. Ardından işaretlenmemiş fakat içlerine mesafeleri yazılmış düğümlere bakıldığında, C'nin 35, M'nin 52 ve L'nin 42 olduğu görülür. En küçüğü C=35 olduğundan ve bu değeri B üzerinden aldığından, BC hattına ok eklenerek işaretlenir (Şekil 2.36).



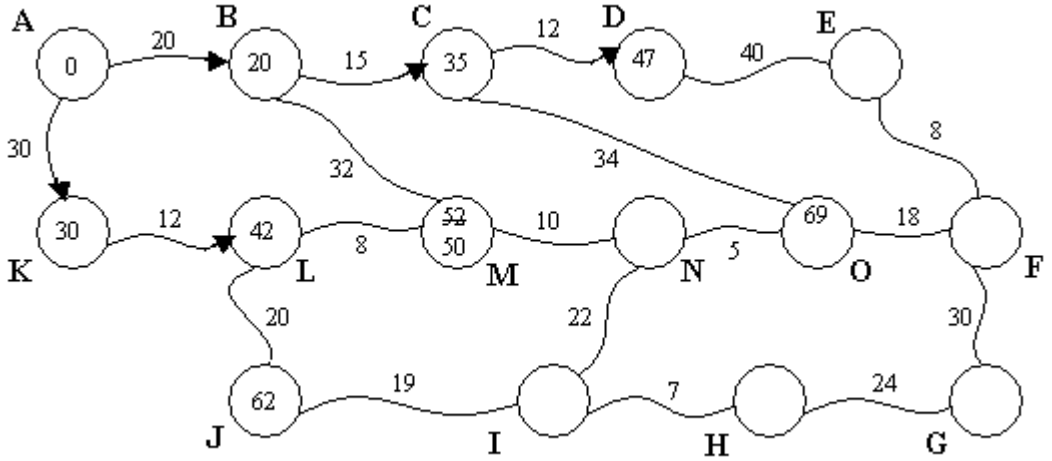
Şekil 2.36 Ok ile işaretlenen düğüm en küçük değere sahip olan C.

4. En son işaretlenen C'nin ardından gelen düğümler D=47 ve O=69 olur. İşaretsiz ve içi doldurulmuş düğümlerden en küçüğü 42 ile L olduğundan ok ile işaretlenir (Şekil 2.37).



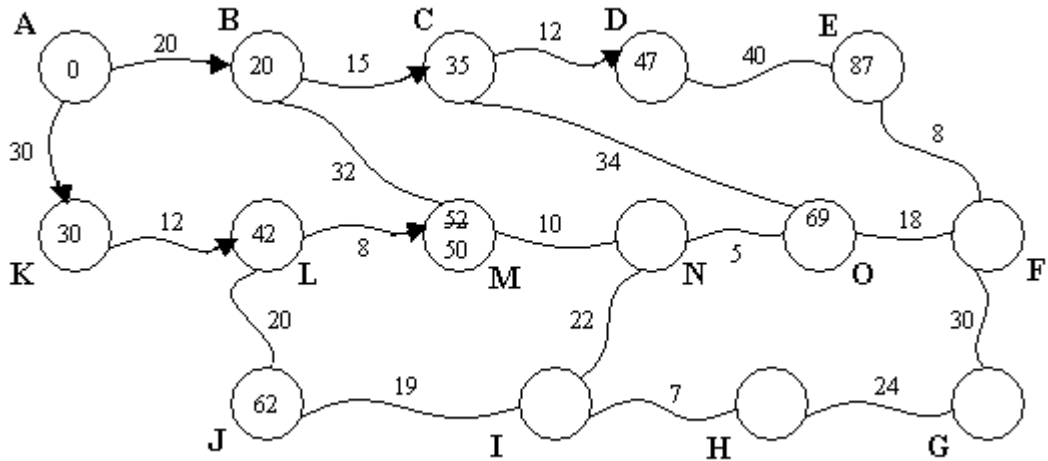
Şekil 2.37 En küçük değer 42 ile L düğümü.

5. Benzer şekildeki işlemin ardından L'den sonra gelen düğümlere değer atanır. Buna göre, J'nin değeri 62 olur. M ise  $42+8=50$  olarak bulunur. Bu değer daha önce B üzerinden alınan 52 değerinden küçük olduğundan, 52 çizilir ve yerine 50 yazılır (Şekil). Bu durumda en küçük değer 47 olduğundan D düğümü işaretlenir (Şekil 2.38).



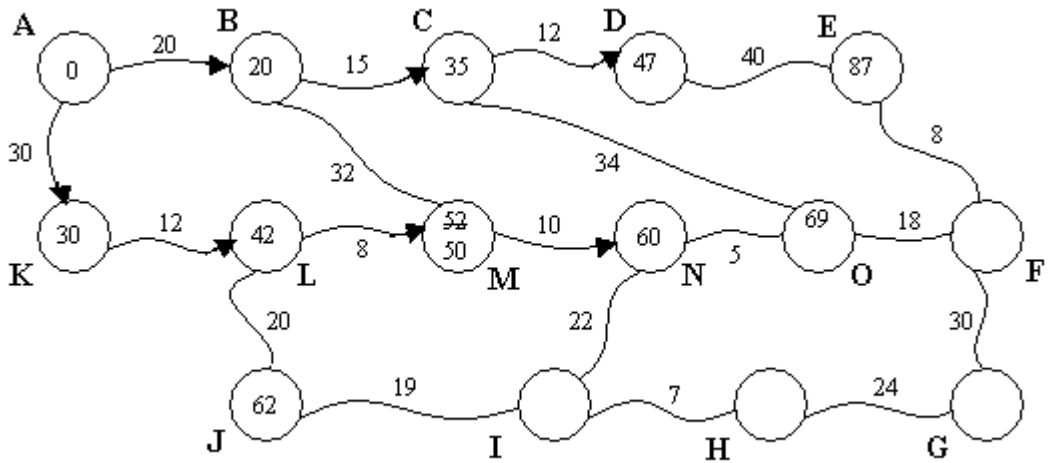
Şekil 2.38 L düğümünden gelen bağlantı M düğümünün önceki değerini iptal eder.

6. D'yi izleyen düğüme (E) değer atanır. En küçük değer olan M işaretlenir (Şekil 2.39).



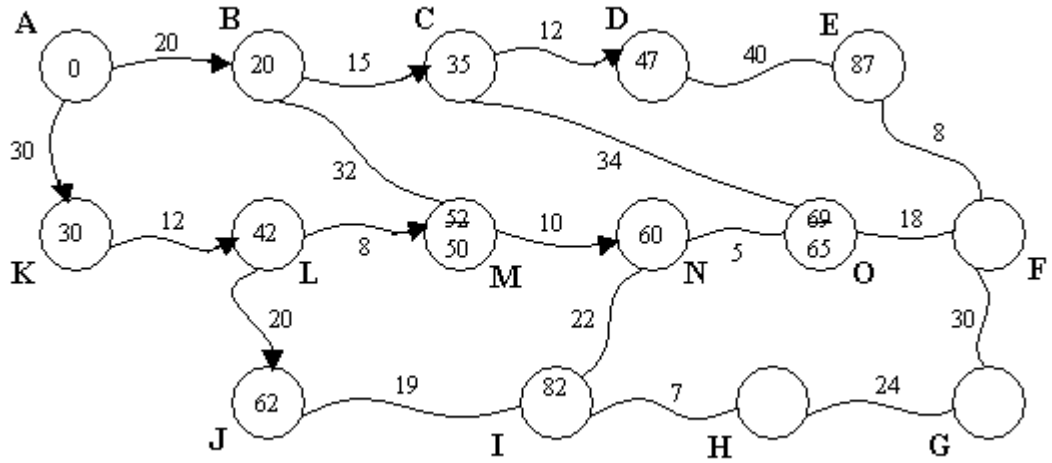
Şekil 2.39 Ok ile işaretlenmemiş çemberler içerisinde en düşük değer M düğümüne ait.

7. M'yi izleyen N'ye değer atanır ve en küçük değer olduğu için işaretlenir (Şekil 2.40).



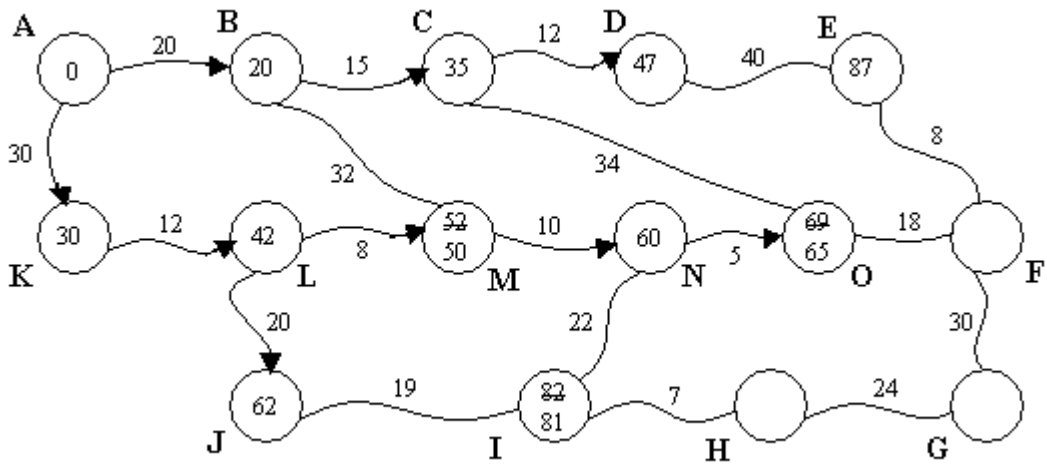
Şekil 2.40 N düğümü en küçük değere sahip.

8. N'yi izleyen I ve O'ya değer atanır. O düğümü için C üzerinden gelen 69 değerinden daha küçük olan 65 değeri atanır ve 69 çizilir. En küçük değer olan J (62) işaretlenir (Şekil 2.41).



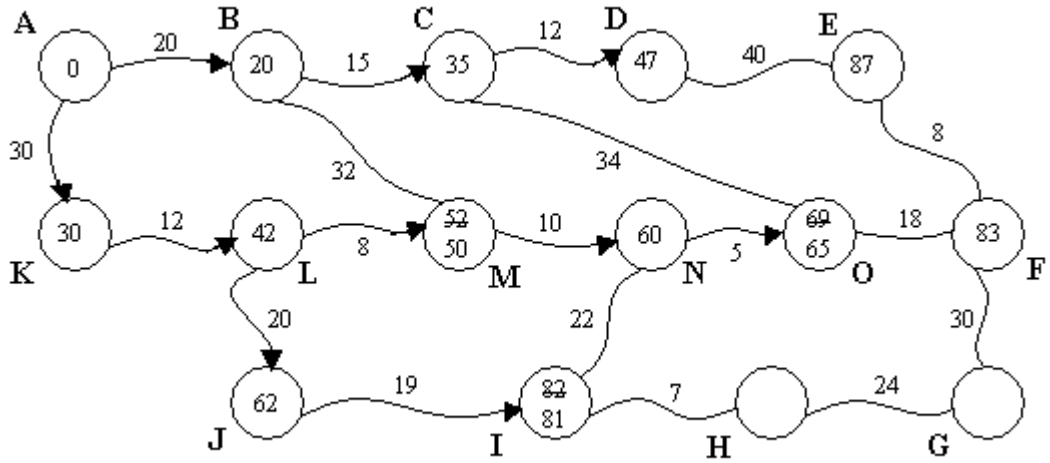
Şekil 2.41 O düğümü daha küçük bir değer aldığı için yeniden düzenlenir.

9. J'yi izleyen düğüm  $62+19=81$  değerini alır ve 82'nin üzeri çizilir. En küçük değere sahip olan düğüm O (65) olduğu için işaretlenir (Şekil 2.42).



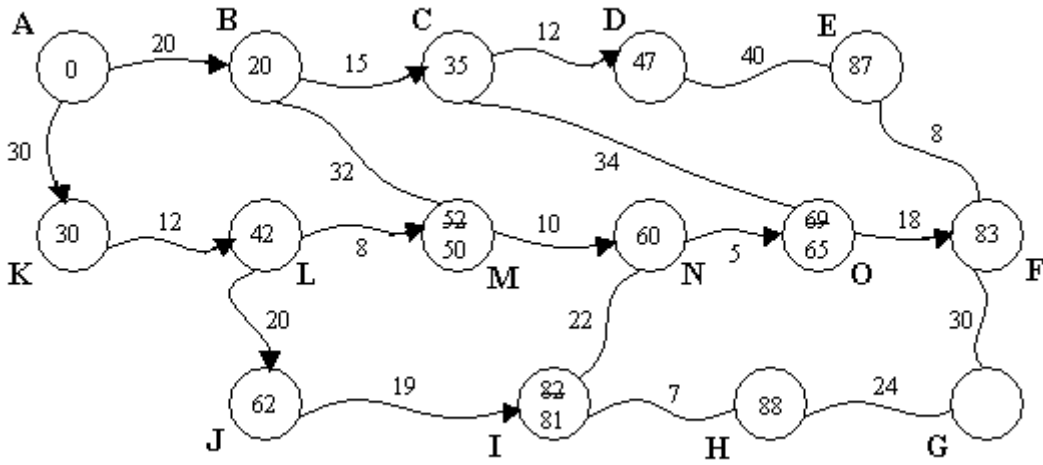
Şekil 2.42 I düğümünün değeri yenilenir ve en küçük değer olan O düğümü işaretlenir.

10. O'yu izleyen F düğümü 83 değerini alır. Bu durumda en küçük değer I düğümüne ait olduğundan I işaretlenir (Şekil 2.43).



Şekil 2.43 En küçük değere sahip düğüm I düğümü.

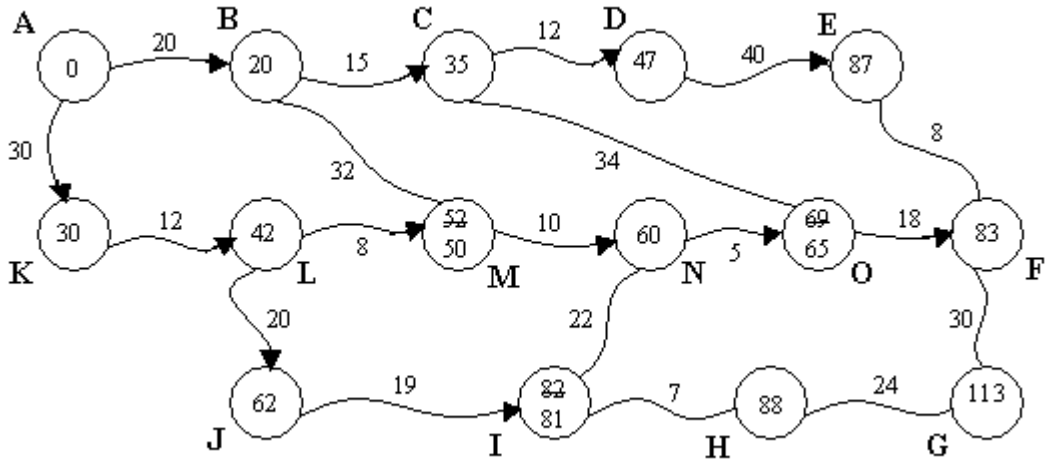
11. I'yı izleyen H düğümü 88 değerini alır. En küçük olan F düğümü işaretlenir (Şekil 2.44).



Şekil 2.44 H düğümü 88 değerini alırken, en küçük değere sahip olan F düğümü işaretlenir

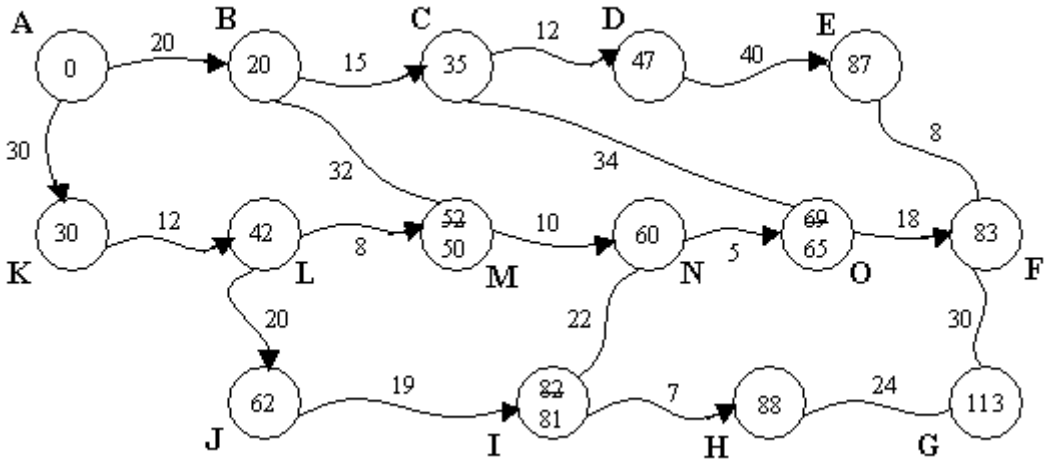
12. F'yi izleyen düğümlere değer atanır. G düğümü 113 değerini alırken, E düğümünün yeni değeri ( $83+8=91$ ), önceden almış olduğu değeri (87) aşmadığından E'ye dokunulmaz. Bu durumda işaretlenmemiş düğümler arasında ki en düşük değerli düğüm E olur ve ok ile işaretlenir (Şekil 2.45).





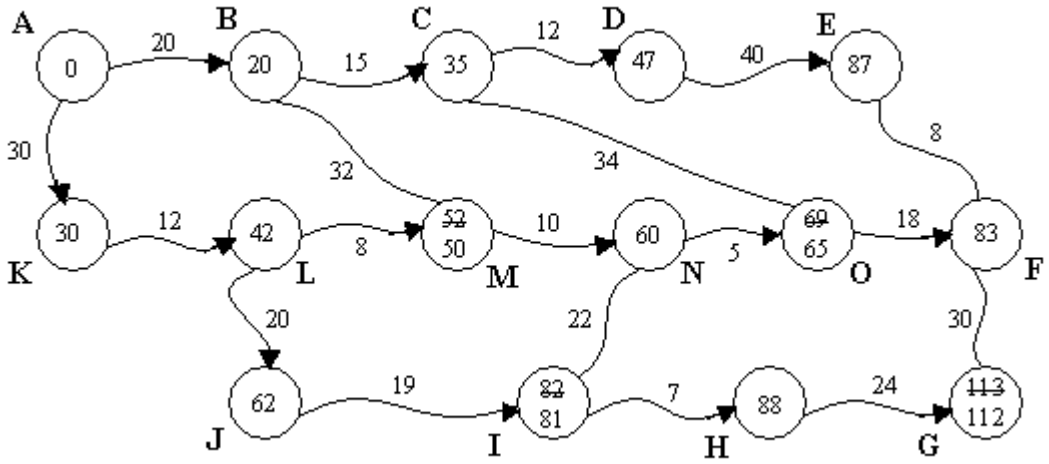
Şekil 2.45 En düşük değerli düğüm olduğu için E düğümü işaretlenir.

13. Kalan düğümler arasındaki en düşük değere sahip olan düğüm H işaretlenir (Şekil 2.46).



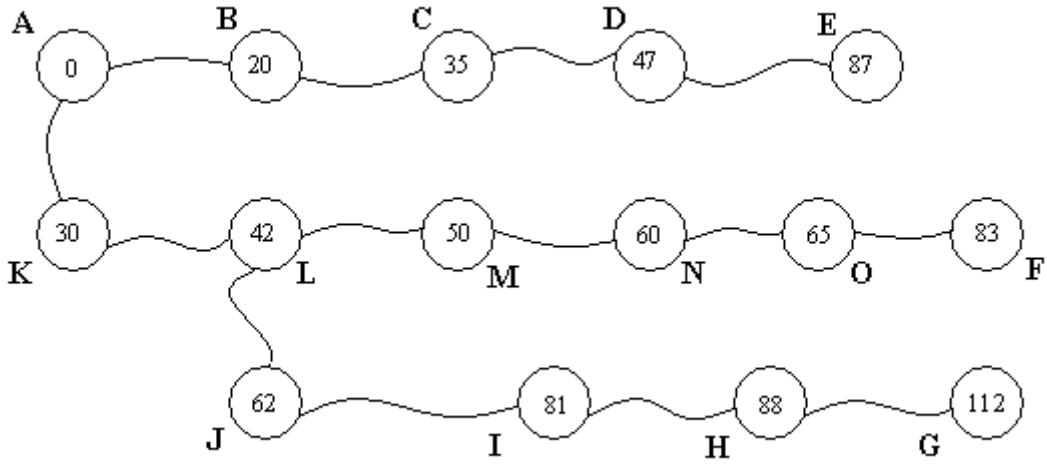
Şekil 2.46 Kalan düğümlerden en düşük değerlisi olduğu için E düğümü işaretlenir.

14. H'nin üzerine 24 eklenerek kendisini takip eden G düğümü 112 değerini alır. Böylece F'den gelen 113 değeri iptal olur ve işaretlenerek H düğümüne bağlanır (Şekil 2.47).



Şekil 2.47 G döğümünün değeri yenilenir ve en küçük değere sahip olduğu için işaretlenir.

Tüm bu işlemlerin ardından A döğümü kök olarak seçilen yukarıdaki grafik için en az dallanan ağaç Şekil 2.48'deki gibi elde edilmiş olur.

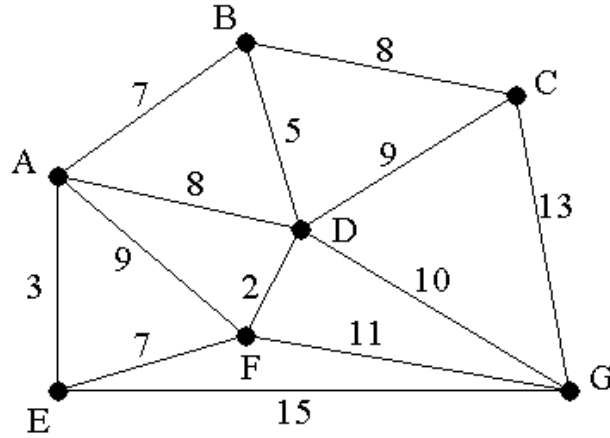


Şekil 2.48 Elde edilen en az dallanan ağaç

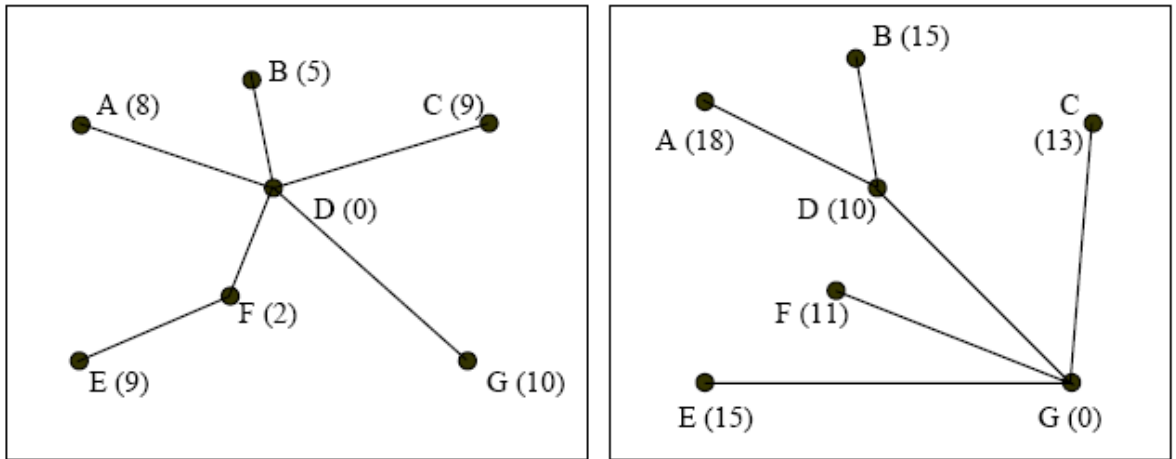
### 2.3.14 Bir Graftaki Merkezi Döğümün Bulunması

Bir en az dallanan ağaçtaki **toplam maliyet**, tüm döğümlerin kök döğümüne olan maliyetlerinin (bu örnek için uzaklıklarının) toplamına eşittir. Buna göre Şekil 2.48'deki ağaç için toplam maliyet 862'ye eşittir. Toplam maliyetin küçük olması kök döğümünün konumunun merkezi olduğunu gösterir. Dolayısı ile bir ağdaki en az dallanan tüm ağaçlar elde edildikten sonra, maliyeti en düşük olanının analizi ile, merkezi döğümüne ulaşmak mümkün olmaktadır.

Örneğin Şekil 2.49'deki graf için, kök düğümü D olarak seçilen en az dallanan ağaçta, D'den diğer noktalara ulaşmak için gerekli olan maliyetler Şekil 2.50(a)'daki gibi olacaktır. Görüldüğü gibi bu ağaç için maliyet dizisi [8,5,9,0,9,2,10] ve toplam ağ maliyeti 43'dür. Kök düğümü G olan bir ağaç yapısı seçildiğinde ise, G'den diğer noktalara ulaşmak için gerekli olan maliyetler Şekil Şekil 2.50(b)'deki gibi olacaktır. G ağı için ise maliyet dizisi [18,15,13,10,15,11,0] ve toplam ağ maliyeti 82 olur. Buradan D düğüm noktasını başlangıç alan ağın, G düğüm noktasını başlangıç alan ağdan daha etkin olduğu ve D düğüm noktasının G düğüm noktasından daha merkezi bir konuma sahip olduğu anlaşılmaktadır (Chou, 1997).



Şekil 2.49 Yedi düğümlü bir maliyetli graf (Chou, 1997)



(a)

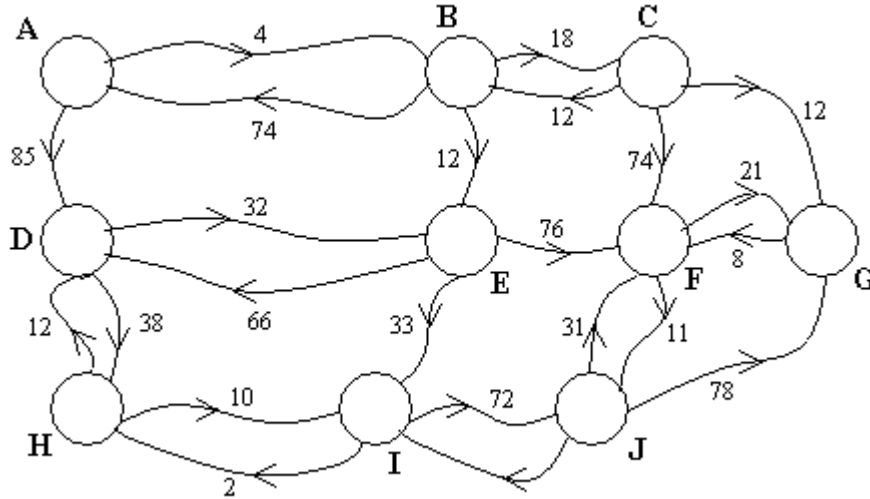
(b)

Şekil 2.50 Farklı kök düğümü seçimine bağlı olarak oluşan maliyetler  
(a) D düğümü seçildiğinde (b) G düğümü seçildiğinde (Chou, 1997).

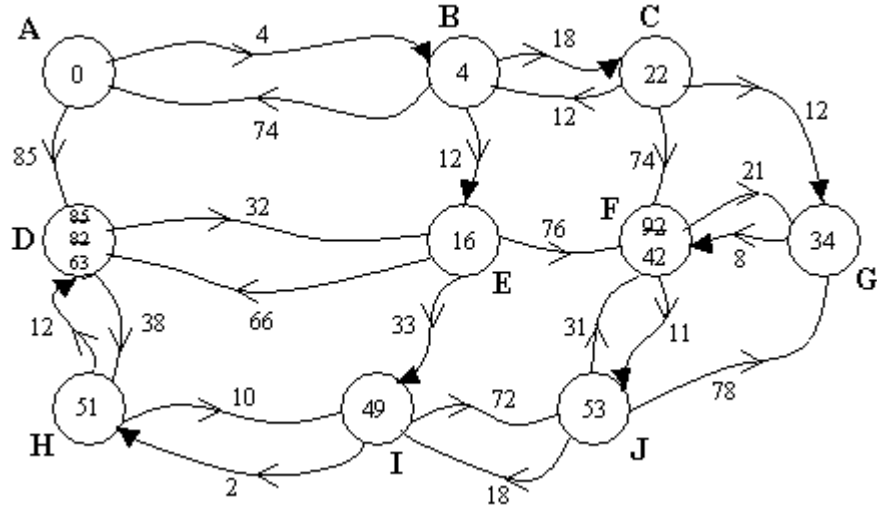
### 2.3.15 En Düşük Maliyetli Yolun Bulunması

İki nokta arasındaki en düşük maliyetli (en kısa yol, en kısa süre vb.) yolun bulunması işlemi en az dallanan ağaç probleminin çözümünden faydalanılır. Bölüm 2.3.12’de de ayrıntılarıyla açıklandığı üzere en az dallanan ağaç bulunarak, kök düğüm ile diğer tüm düğümler arasındaki maliyetin en küçük olması sağlanır. Dolayısı ile başlangıç noktası kök düğüm olarak seçildiğinde, elde edilen en az dallanan ağaçtaki diğer noktaya giden yol, iki nokta arasındaki en düşük maliyetli yolu verecektir. Edsger W. Dijkstra tarafından 1959 yılında geliştirilen (Dijkstra, 1959) ve yönlü graflara da uygulanabilen en düşük maliyetli yol çözümü, **Dijkstra Algoritması** olarak da anılır.

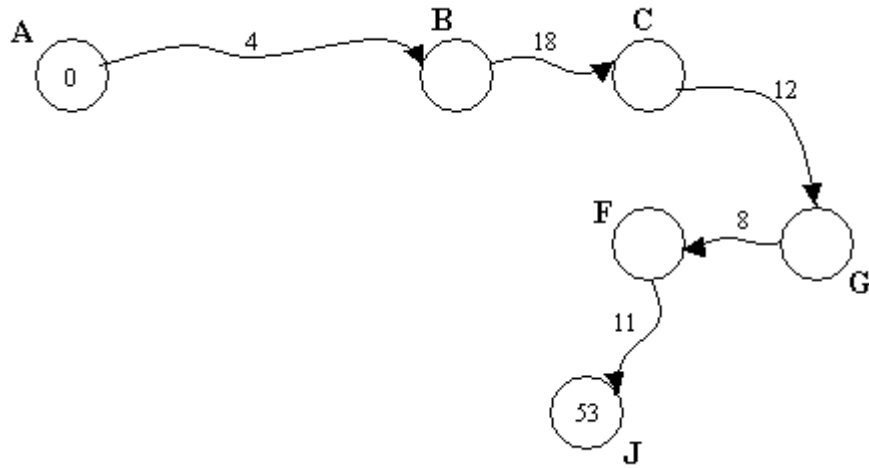
Şekil 2.51’de görülen yönlü ve maliyetli graf bir yol ağını ve düğümler de şehirleri temsil etsinler. Şehirler arasındaki gidiş ve dönüş güzergahları ve bu güzergahların uzunlukları birbirinden farklı olsun. Bu ağda A ile J şehri arasındaki en kısa yol bulunmak istendiğinde, öncelikle A noktasının kök düğüm olarak kabul edildiği en az dallanan ağaç elde edilmelidir. Dolayısı ile Bölüm 2.3.12’de açıklanan adımlar uygulanarak elde edilen en az dallanan ağaç Şekil 2.52’deki gibi olacaktır. Bu ağaçtaki A’dan J’ye giden toplam 53 birimlik yol, iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi verecektir (Şekil 2.53).



Şekil 2.51 Şehirleri ve arasındaki yolları temsil eden yönlü ve maliyetli bir graf.



Şekil 2.52 En az dallanan ağaç.



Şekil 2.53 A şehrinden J şehrine giden en kısa yol.

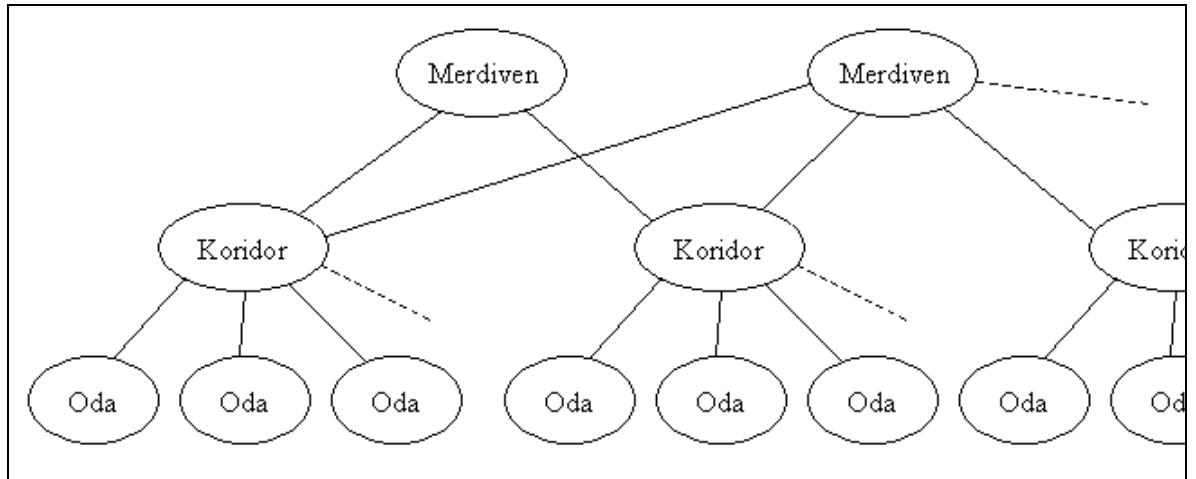
### 3. AĞ UYGULAMALARINA YÖNELİK 3B CBS PROTOTİPİ TASARIMI

#### 3.1 Kavramsal ve Mantıksal Tasarım

Bölüm 1’de de belirtildiği üzere tez kapsamında gökdelen, iş merkezi, plaza, alışveriş merkezi, hastane, sinema, tiyatro gibi çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış yapılara yönelik bir 3B Ağ Analizi Sisteminin tasarlanması hedeflenmiştir. Dolayısı ile ulaşım ağının tanımlanması anlamında bina içindeki her türden bağımsız bölüm 3B ağ analizlerinin konusunu oluşturmaktadır. Söz konusu binalarda oda, geçit, koridor, antre, salon, fuaye, merdiven, otopark, büro, giriş, çıkış, dükkan gibi çok çeşitli birimler mevcut olmakla birlikte, kullanım şekilleri açısından bu tür birimleri üçe ayırmak mümkündür.

- Oda: Ağdaki uç noktaları temsil eden, her türden bağımsız ve kapalı alanlardır.
- Koridor: Odaların diğer birimlerle bağlantısını sağlayan geçit, koridor, antre gibi birimlerdir.
- Merdiven: Katlar arası geçiş ve ulaşımı sağlayan merdiven ve asansörlerdir.

Odaların koridorlara, koridorların da merdivenlerle birbirine bağlı olduğu bir ağ, binanın ulaşım yapısını oluşturmaktadır. Buradan hareketle herhangi bir bina için 3B ağ modelinin Kavramsal Tasarımı Şekil 3.1’deki gibi olacaktır.



Şekil 3.1 Kavramsal Tasarım

Şekil 3.1’de görülen yapı, birimler ve aralarındaki ilişkilerden oluşmaktadır ve aslında bir graf yapısı göstermektedir. Her bir birim düğüm, her bir ilişki de hat olarak düşünüldüğünde söz konusu modelin Mantıksal Tasarımı Çizelge 3.1’deki gibi olacaktır.

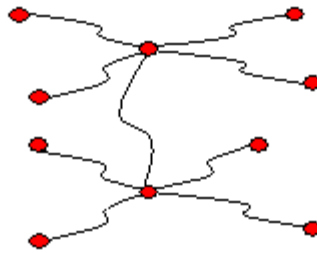
Çizelge 3.1 Mantıksal Tasarım

<i>Adı</i>	<i>Örnek</i>
Düğüm ID	5
Düğüm Adı	Oda 105
Düğüm Tipi	Oda
Düğüm Geometrisi	x, y, z
...	...

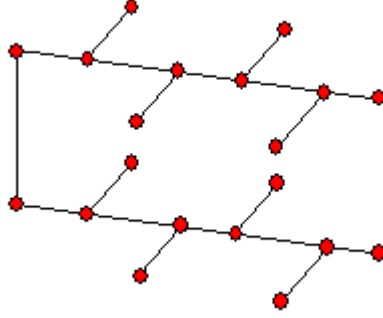
<i>Adı</i>	<i>Örnek</i>
Hat ID	7
Başlangıç Düğümü	5
Bitiş Düğümü	18
Maliyet (Uzaklık)	12 m.
...	...

<i>Adı</i>	<i>Örnek</i>
Düğüm ID	18
Düğüm Adı	Oda 105
Düğüm Tipi	Oda
Düğüm Geometrisi	x, y, z
...	...

Kavramsal ve mantıksal tasarımı bu şekilde gerçekleştirilen bina içindeki yol ağı, tez kapsamında kısaca “**Ağ Modeli**” olarak anılacaktır. Graf özelliğindeki ağ modeli, düğümler ve aralarındaki ilişkilerden oluştuğu için topolojik yapıdadır (Şekil 3.2) (Karaş vd., 2006). Bununla birlikte ağ modeli, görselleştirme ve maliyet (en kısa/uygun yol) hesabının yapılabilmesi için topolojik bilginin yanı sıra düğümlerin koordinatları ve bağlantıların uzunlukları gibi geometrik bilgileri de içerir. Bu şekilde hem geometrik hem de topolojik olarak temsil edilen yapı, geometrik ağ modeli olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.3).

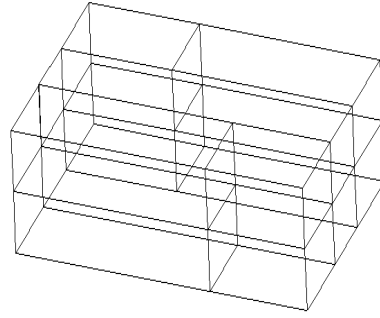


Şekil 3.2 Topolojik Ağ Modeli (Geometri yok)



Şekil 3.3 Geometrik Ağ Modeli (Topoloji + Geometri)

3B ağ analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için, ağ modelinin yanı sıra binaların 3B olarak görselleştirilmesini sağlayan bina geometrisine de ihtiyaç vardır. Söz konusu 3B bina modeli topolojik bilgi içermemekte, sadece kullanıcıya binanın yapısı hakkında bilgi vermektedir. (Şekil 3.4). Spagetti veri yapısında modellenen yapı, tez kapsamında kısaca “**Bina Modeli**” olarak anılacaktır.



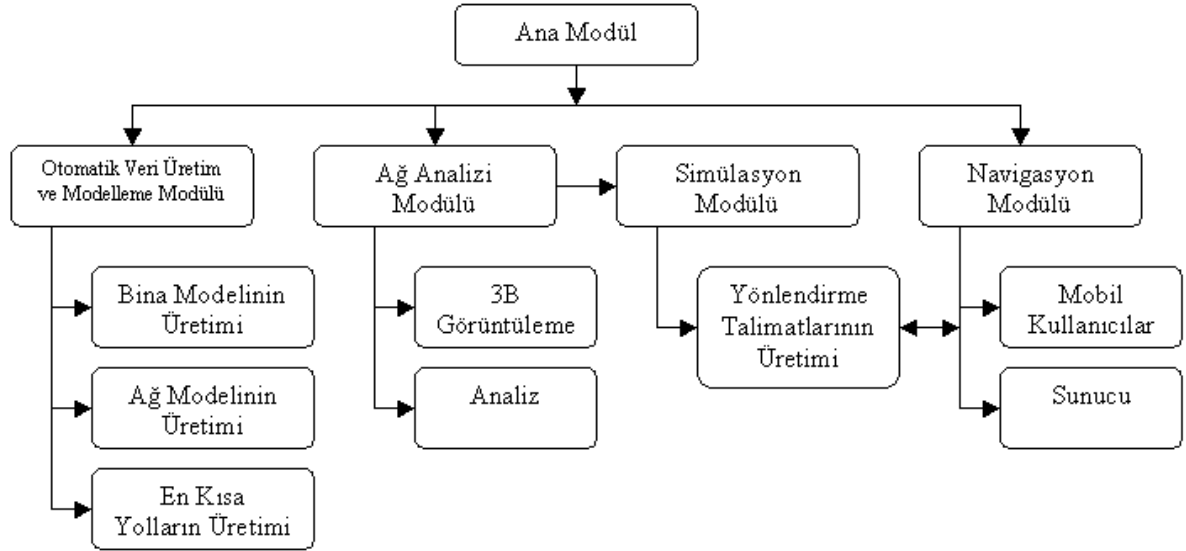
Şekil 3.4 3B Bina Modeli

### 3.2 Sistem Mimarisi

Şekil 3.5’de de görüldüğü üzere ağ uygulamalarına yönelik olarak geliştirilen 3B sisteminin bir çok bileşeni olmakla birlikte, ana hatlarıyla şu dört modülden oluşmaktadır;

- Otomatik Veri Üretim ve Modelleme Modülü,
- Ağ Analizi Modülü,
- Simülasyon Modülü,
- Navigasyon Modülü.



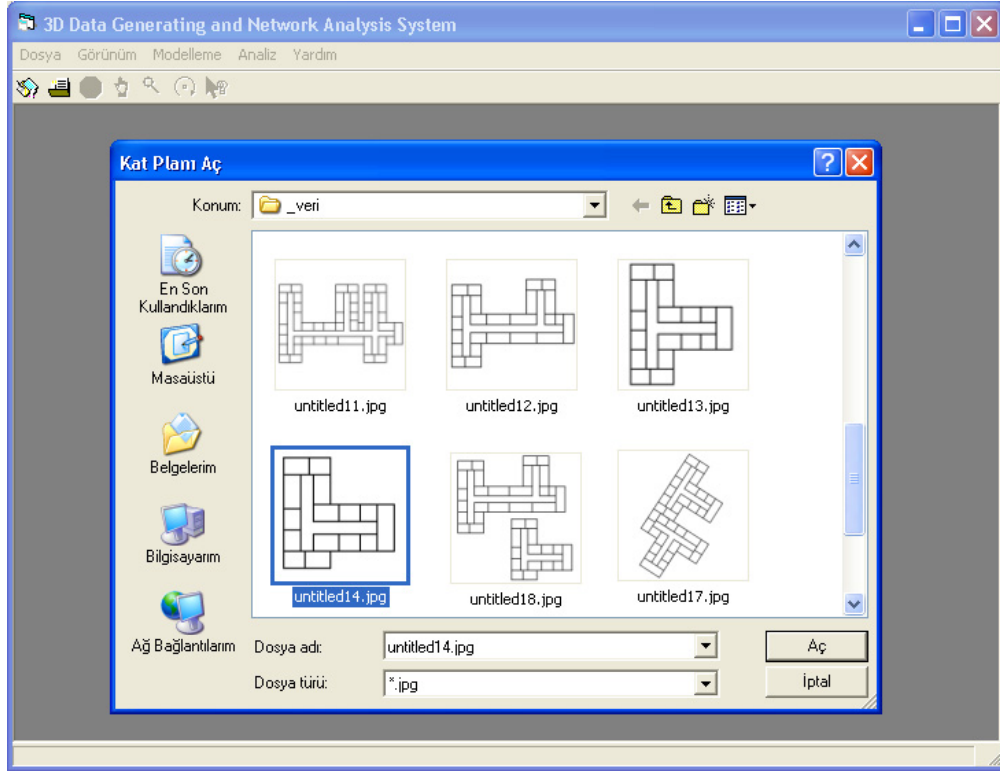


Şekil 3.5 Sistem Mimarisi

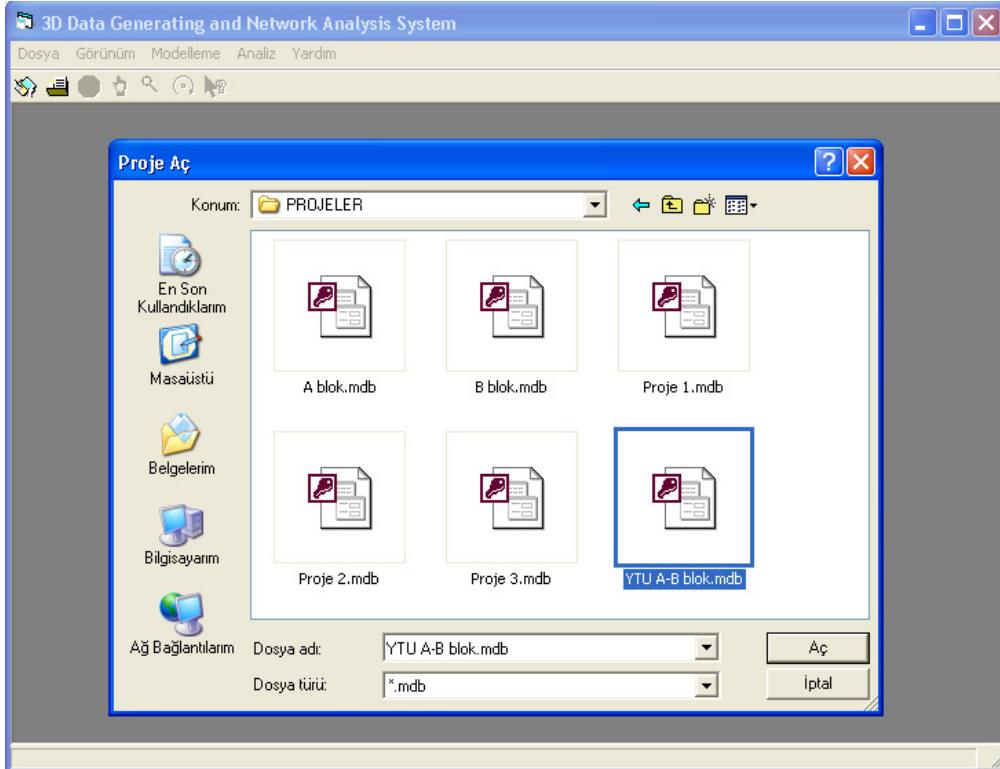
Ağ uygulamalarına yönelik 3B CBS prototipi genel olarak Visual Basic 6.0 platformunda geliştirilmiştir. İlerleyen bölümlerde de ayrıntılı olarak belirtileceği üzere, sistemin farklı bileşenleri için çeşitli yöntem ve algoritmalarından faydalanılmıştır. Veri üretim modülünde ağırlıklı olarak sayısal görüntü işleme algoritmaları kullanılmış, elde edilen verilerin otomatik olarak veri tabanına aktarılması ise Konumsal Veri Değişimi yöntemleri (Karas vd., 2003) ile gerçekleştirilmiştir. En kısa yolların hesaplanmasında Dijkstra algoritması (Dijkstra, 1959) temel alınmıştır. 3B görüntüleme ve simülasyon işlemlerinde ise her hangi bir grafik kütüphanesinden (OpenGL, DirectX, vb.) faydalanılmamış, Bilgisayar Grafikleri (Computer Graphics) algoritmaları esas alınarak kodlanmıştır. Simülasyon uygulamasında talimatların seslendirilmesi aşamasında "Microsoft Speech Object Library" adlı "Text to Speech" kütüphanesi kullanılmıştır. Navigasyon modülünün, mobil kullanıcıların sistemle etkileşimini sağlayan web tabanlı uygulamalarında ise, sunucu-istemci mimarisini destekleyen ASP (Active Server Pages) teknolojisi tercih edilmiştir.

Sistem proje mantığı ile çalışmakta, ağ uygulamasına konu olan bina yada binaların her biri, MS Access ortamında, ayrı bir konumsal veri tabanında saklanmaktadır. Dolayısı ile kullanıcı, binaya ait kat planından otomatik olarak veri üreterek yeni bir proje üzerinde çalışabileceği gibi (Şekil 3.6), varolan bir projeyi açarak veri altyapısı önceden tamamlanmış bir proje üzerinde doğrudan analiz işlemlerine de başlayabilir (Şekil 3.7). Otomatik olarak gerçekleştirilse de, özellikle çok katlı ve karmaşık bina yada binalar için veri üretimi ve en kısa yolların tanımlanması işlemi zaman alan bir süreçtir. Dolayısı ile bu sürecin tamamlanmasının ardından elde edilen verilerin bağımsız bir proje olarak ortaya konulması

ile, ağ analizi ile ilgili her türden uygulamada etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilir bir kapsamlı bir altyapıya ulaşılmaktadır.



Şekil 3.6 Modellenmek üzere raster formatındaki kat planının seçilmesi.



Şekil 3.7 Modellenmiş bir projenin açılması.

### 3.3 Otomatik Veri Üretimi ve Modelleme

Bölüm 1’de de değinildiği üzere, 3B ağ analizi ile ilgili yayınlar incelendiğinde bu analizlerin gerçekleştirilmesini sağlayacak olan, veri altyapısının oluşturulması ve modellenmesinde zorluklar yaşandığı görülmektedir. Söz konusu çalışmalarda belirtildiğine göre, bina ve ağ modeli verilerinin hızlı ve doğru olarak elde edilmesine yönelik olarak yeni yöntem ve modellerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Nitekim Abdul-Rahman (2007), otomatik obje tanıma ve 3B veri yapılandırma yöntemleri giderek gelişmekte olsa da, veri elde etmede manuel yöntemlerin hakimiyetinin hala büyük ölçüde devam etmekte olduğunu belirtmiştir. Pu ve Zlatanova (2005) binaların geometrik ve topolojik modellerinin otomatik olarak elde etmenin zorluklarından bahsetmiş, özellikle hat-düğüm yapısının ancak manuel yada yarı otomatik yöntemlerle oluşturulabildiğine dikkat çekmişlerdir.

Bu noktadan hareketle tez çalışmasının bu aşamasında, bina ve ağ modellerinin hızlı bir şekilde oluşturulması ve ağ analizlerinin yapılabilmesine imkan sağlayacak şekilde verilerin üretilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu amaçla herhangi bir binaya ait “kat planı”ndan, üç boyutlu bina modeli ile, ağ modelinin hızlı, etkin ve otomatik bir şekilde elde edilmesini sağlayan ve MUSCLE (Multidirectional Scanning for Line Extraction – Çok Yönlü Tarama ile Çizgilerin Elde Edilmesi) Model adı verilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

#### 3.3.1 MUSCLE Model

Bilindiği gibi kağıt üzerine çizili olan binaların mimari planları, taranarak raster formatına dönüştürülebilmektedirler. MUSCLE Model ile bu türden bir kat planı verisi, piksel piksel analiz edilerek vektörel ve topolojik yapıdaki bina ve ağ modelleri otomatik olarak elde edilebilmektedir. Böylece binanın üç boyutlu geometrik yapısının ve topolojik ağın elde edilmesi, ardından koordinatların, çizgilerin ve hat-düğüm bilgilerinin oluşturulan modele uygun olarak konumsal veri tabanına kaydedilmesi sağlanmaktadır. Dolayısı ile geliştirilen yöntem, esasen bir görüntü işleme algoritmasıdır ve sadece bu modellerinin elde edilmesinde değil, raster veri yapısındaki her türden görüntünün vektörizasyonu ile çizgilerin elde edilmesinde kullanılabilir.

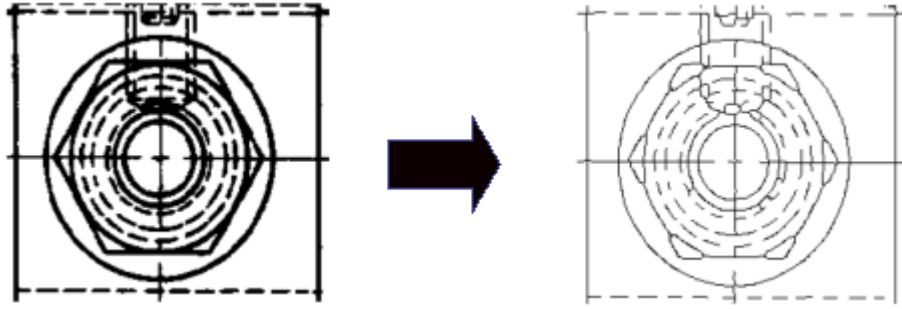
Raster görüntülerdeki çizgilerin elde edilmesine yönelik olarak bugüne kadar bir çok yöntem ve algoritma geliştirilmiştir (Miao vd. 2002, Hori ve Tanigawa 1993, Wenyan ve Dori 1999). Bu yöntemleri 6 sınıfa ayırmak mümkündür:

- Hough Dönüşümü tabanlı (Hough Transformation based)

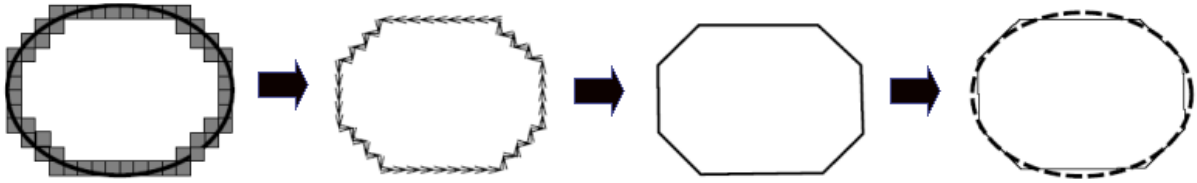
- İnceltme tabanlı (Thinning based)
- Şekil tabanlı (Contour based)
- Grafik yürütme tabanlı (Run-Graph based)
- Ağ desen tabanlı (Mesh pattern based)
- Ayırık piksel tabanlı (Sparse Pixel based)

İlki hariç bu yöntemlerin hepsinde de aşağıdaki aşamalar izlenmektedir (Jennings 1993).

- Çizgi inceltme: Görüntüdeki çizgilerden her biri bir piksel kalınlığına indirilerek çizgilerin iskeleti ortaya çıkarılır (Şekil 3.8).
- Çizgi izleme-Zincir Kodlama: Her bir çizginin piksel piksel ilerleme yönleri belirlenerek zincir kod üretilir.
- Vektör Azaltma: Zincir koduna bağlı olarak, görüntüdeki çizgilere çakışık fakat en az sayıda doğru parçasından oluşacak şekilde vektör doğrular elde edilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8 Çizgi inceltme işlemi



Şekil 3.9 Vektör azaltma işlemi

MUSCLE (Multidirectional Scanning for Line Extraction) Model ile, klasik yöntemlerden farklı olarak geliştirilen vektörizasyon algoritması sayesinde, çizgi izleme-zincir kodlama ve vektör azaltma işlemlerine gerek kalmadan, sadece komşuluk analizi ile çizgileri elde etmek mümkün olmaktadır. Söz konusu modele ait algoritma bir yanıyla, bir çizgi inceltme

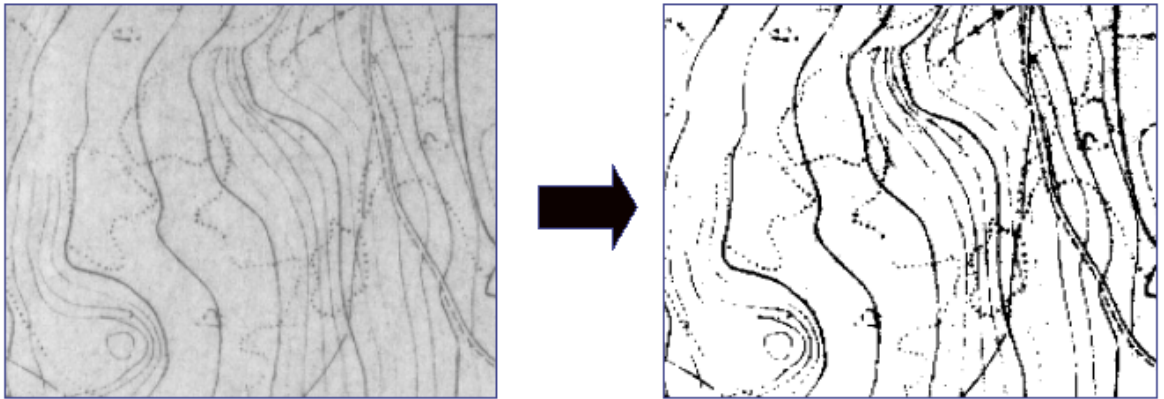
algoritmasıdır.

Yöntemi oluşturan algoritma genel olarak şu aşamalardan oluşmaktadır:

1. Raster görüntünün eşikleme işlemiyle, ikili (binary) veri setine dönüştürülmesi.
2. Görüntünün yatay olarak taranması (Düşeye yakın doğruların elde edilmesi).
3. Görüntünün düşey olarak taranması (Yataya yakın doğruların elde edilmesi).
4. Yatay ve düşey tarama sonucu elde edilen doğrulardan hatalı olanlarının belirlenmesi.
5. Hatalı doğruların iki yönlü çapraz tarama ile düzeltilmesi.
6. Elde edilen doğrular üzerindeki topolojik düzeltmeler.

### 3.3.1.1 Eşikleme İşlemi

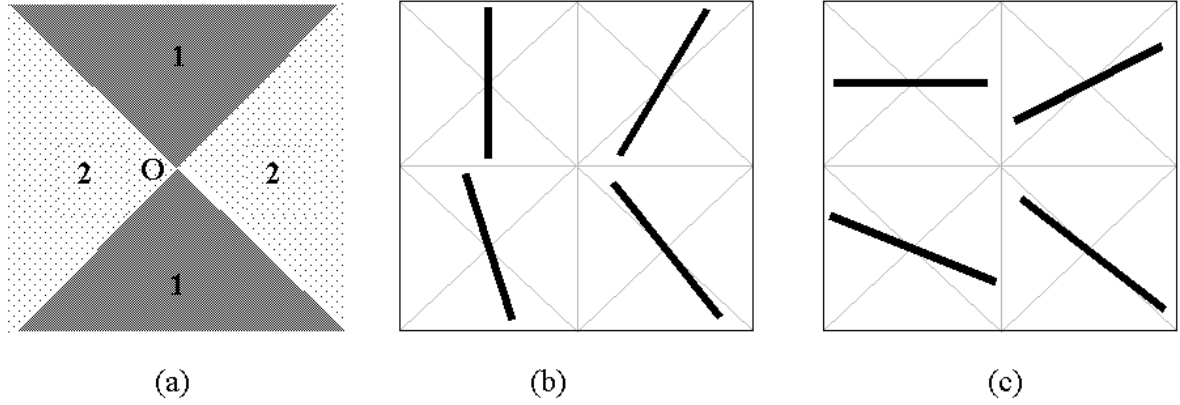
MUSCLE modelin ilk aşamasında, raster görüntü önce eşikleme (threshold) işlemine tabi tutulmakta, görüntüdeki ortalama gri değerden daha açık olan pikseller beyaz, daha koyu olanlar siyah olacak şekilde iki (binary) renkten oluşan bir veri setine dönüştürülmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Görüntünün eşikleme işlemi ile ikili veriye dönüştürülmesi

### 3.3.1.2 Yatay ve Düşey Tarama

Görüntü yatay olarak taranarak düşeye yakın doğrular, düşey olarak taranarak ise yataya yakın doğrular elde edilmektedir. Burada tarama ile kastedilen, görüntüdeki piksellerin belli bir yönde tek tek incelenerek analiz edilmesidir.



Şekil 3.11 (a) Bölgeler (b) Düşeye yakın doğrular (c) Yataya yakın doğrular

Eğimi  $-1$  ile  $1$  arasında ( $-1 < m < 1$ ) olan doğrular yataya yakın,  $-1$ 'den küçük yada  $1$ 'den büyük ( $m < -1$  ve  $m > 1$ ) olan doğrular ise düşeye yakın doğrular olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla, Şekil 3.11a için,  $O$  merkezini kesmek üzere, 1. bölgeden geçen doğrular düşeye yakın, 2. bölgeden geçen doğrular yataya yakın doğrular olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.11b'de düşeye yakın, Şekil 3.11c'de ise yataya yakın doğru örnekleri çizilmiştir.

İlk aşamada, raster veri seti yatay olarak taranarak (satırlar boyunca pikseller üzerinde gidilerek) raster görüntüdeki çizgi kalınlıkları tespit edilmekte ve çizgi kalınlığının orta noktasına düşen pikseller belirlenmektedir. Bu işlem esnasında görüntü üzerinde soldan sağa gidilerek her bir pikselin renk değerine bakılmaktadır. Siyah bir pikselle karşılaşıldığında bunun kaçınıcı piksel olduğu belirlenmektedir. Sonra ilerlemeye devam edilmekte ve sonraki ilk beyaz piksele rastlandığında yine kaçınıcı piksel olduğu belirlenmektedir. Buna göre ilk siyah piksel  $m$  ve ilk beyaz piksel  $n$  sırasında olmak üzere;

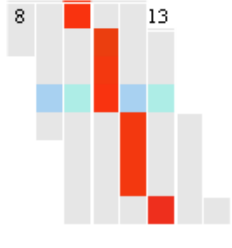



$$m + \text{Tamdeğer}((n - m) / 2) \quad (3.1)$$

formülü ile çizginin orta noktasındaki pikselin, yeri belirlenmiş olmaktadır. Örneğin 8. piksel ilk siyah piksel, 13. piksel ise bundan sonraki ilk beyaz piksel olsun.

$8 + \text{Tamdeğer}((13 - 8) / 2)$  formülü ile hesaplanan, çizgi orta noktasının yeri 10. piksel olarak ortaya çıkmakta ve bu nokta kırmızıya dönüştürülmektedir (Şekil 3.9a).

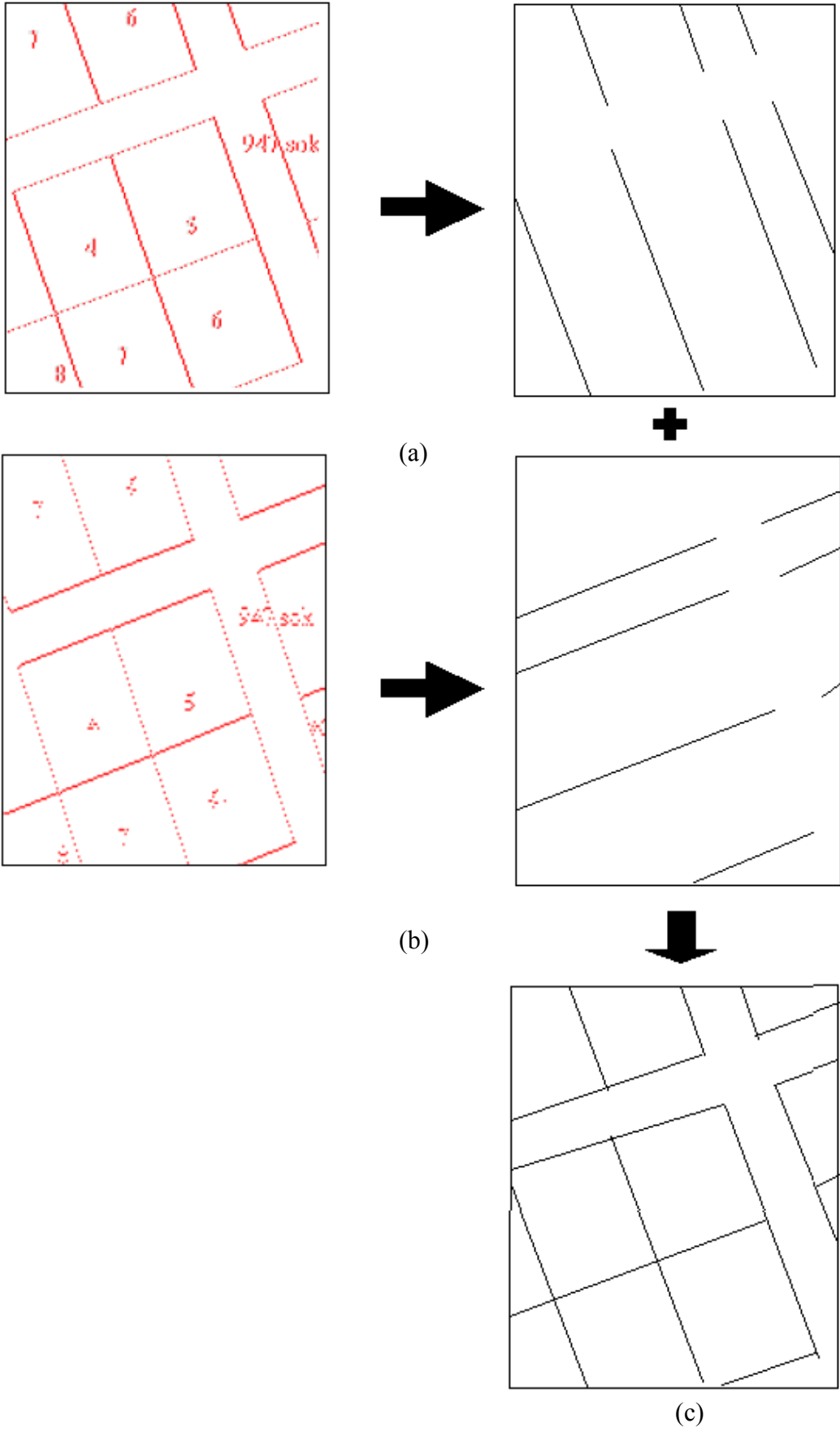
Satır üzerinde devam edilerek diğer çizgiler için de aynı işlemler yapıldıktan ve tüm satırlarda aynı işlemler gerçekleştirildikten sonra, kırmızı piksellerin dağılımı, düşeye yakın doğrular için Şekil 3.12a, yataya yakın doğrular için ise Şekil 3.12b'deki gibi olmaktadır. Şekillerde de görüldüğü üzere, kırmızı noktalar düşeye yakın doğrular için süreklilik gösterirken, yataya yakın doğrular için kesik kesik bir durum arz etmektedir.

Bir sonraki aşamada raster veriseti bu kez düşey olarak taramakta ve aynı işlemler, aynı formül yardımı ile, sütunlar boyunca pikseller üzerinde gidilerek, tekrar gerçekleştirilmektedir. Bu durumda tam tersi bir durum ortaya çıkmakta, Şekil 3.12c ve 3.12d’de görüldüğü üzere, kırmızı noktalar yataya yakın doğrular için süreklilik gösterirken, düşeye yakın doğrular içinse kesintili olarak ortaya çıkmaktadır.

	Düşeye Yakın Doğrular	Yataya Yakın Doğrular
Yatay Tarama	 (a)	 (b)
Düşey Tarama	 (d)	 (c)

Şekil 3.12 Yatay ve düşey tarama ile kırmızı piksellerin belirlenmesi

Hem yatay hem de düşey taramanın ardından, raster görüntüde sadece çizgi orta noktalarını oluşturan kırmızı pikseller bırakılmakta ve ardından bu pikseller üzerinde komşuluk analizi yapılmaktadır. Bu yöntem ile kırmızı piksele bitişik diğer kırmızı piksel aranmakta ve doğrunun bir ucundan diğer ucuna kadar bu işlem devam etmektedir. Komşu piksel bulunamadığı an doğrunun bitiş noktasına gelindiği anlaşılmaktadır. Bu şekilde her bir kırmızı hattın başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilmektedir. Böylece kesintisiz olarak birleşen kırmızı hatlar vektör yapıya dönüşmüş olmakta, yatay taramada sadece düşeye yakın, düşey taramada ise sadece yataya yakın doğrular kesintisiz olarak elde edilerek, bu iki grup bir araya getirildiğinde bütüne ulaşılmaktadır.



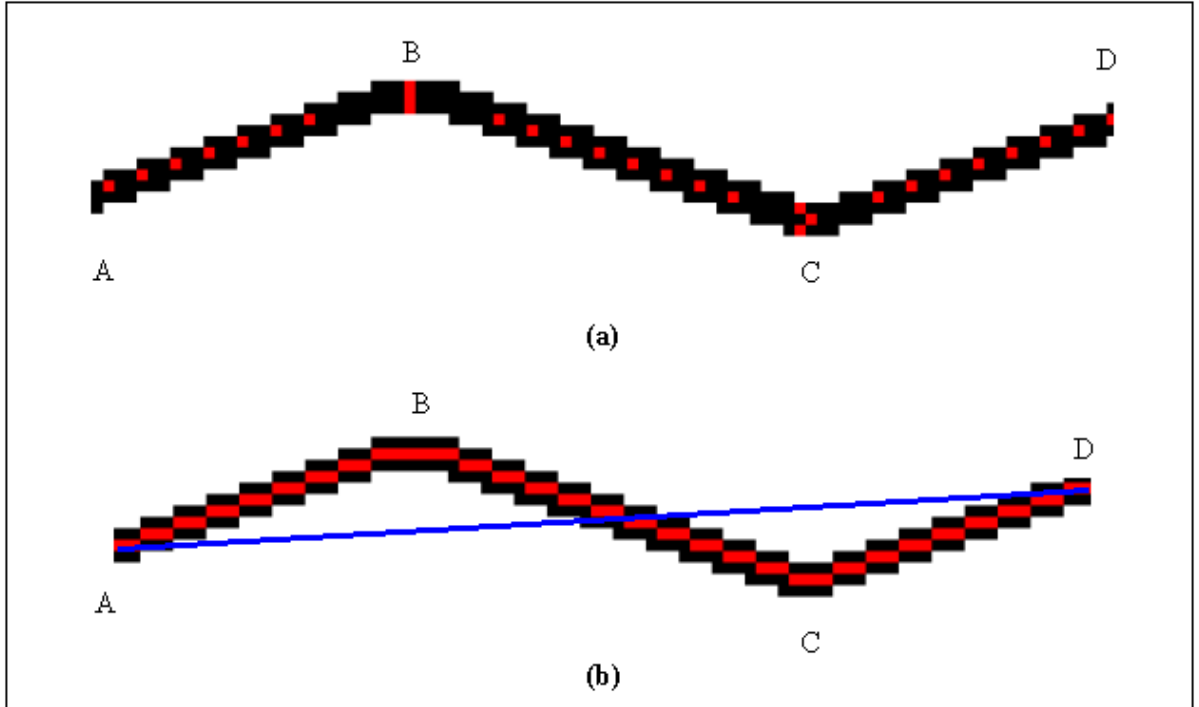
Şekil 3.13 Yatay ve düşey tarama ile vektör verinin elde edilmesi



Şekil 3.13a'daki örnekte, yatay tarama ile belirlenen kırmızı noktalardan süreklilik arz edenlerinin analizi ile düşeye yakın doğruların vektör olarak nasıl elde edildiği görülmektedir. Şekil 3.13b ise düşey tarama ile yataya yakın doğruların nasıl elde edildiğini göstermektedir. Bu iki aşamadan sonra elde edilen vektörlerin birleştirilmesi ile ise Şekil 3.13c'de görülen bütüne ait vektör yapıya ulaşılmaktadır.

### 3.3.1.3 Yatay ve Düşey Tarama ile Doğru Olarak Elde Edilemeyen Çizgilerin Belirlenmesi

Tümü yataya yakın, yada tümü düşeye yakın doğru parçalarının birbiri ardına eklendiği durumlarda yukarıda açıklanan yöntem başarısız olmakta, bu türden doğrular düzgün olarak vektörize edilememektedir.



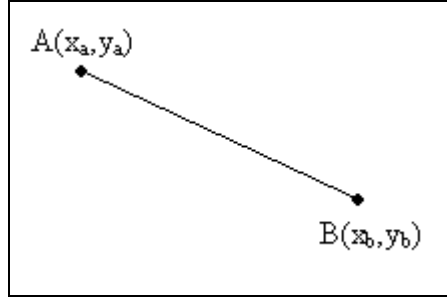
Şekil 3.14 a) Yatay tarama sonucu elde edilen kırmızı pikseller

b) Düşey Tarama sonucu elde edilen kırmızı pikseller ve gerçekleştirilen hatalı vektörizasyon

Örneğin Şekil 3.14'e göre raster verideki AB, BC ve CD doğrularının her üçü de yataya yakın doğru sınıfına girdiğinden yatay tarama yapıldığında, herhangi bir vektör veri elde edilememekte (Şekil 3.14a), düşey tarama yapıldığında ise, A'dan D'ye süreklilik arz ettiği için kırmızı pikseller üzerinde komşuluk analizi yapıldığında doğrunun ilk noktası A, son noktası D gibi algılanmakta, B ve C köşe noktaları atlanmakta, dolayısı ile hatalı bir vektör doğru ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.14b). Bu gibi durumlarda çapraz tarama uygulanarak

çözümüne gidilmektedir.

Yatay ve düşey tarama ile vektörize edilmiş, bir raster görüntüdeki bu türden hatalı doğruların varlığı kırmızı piksellerin, elde edilen vektörlerin doğru denklemlerini sağlayıp sağlamadığına bakılarak belirlenmektedir. Buna göre örneğin, elde edilen vektör  $A(x_a, y_a)$  ve  $B(x_b, y_b)$  noktalarının birleştirdiği bir AB doğrusu (Şekil 3.15) ise,



Şekil 3.15 AB Doğrusu

$$(Y - y_a) / (y_a - y_b) = (X - x_a) / (x_a - x_b) \quad (3.2)$$

olacağından, vektöre ait  $Y = mX + n$  formatındaki doğru denklemi;

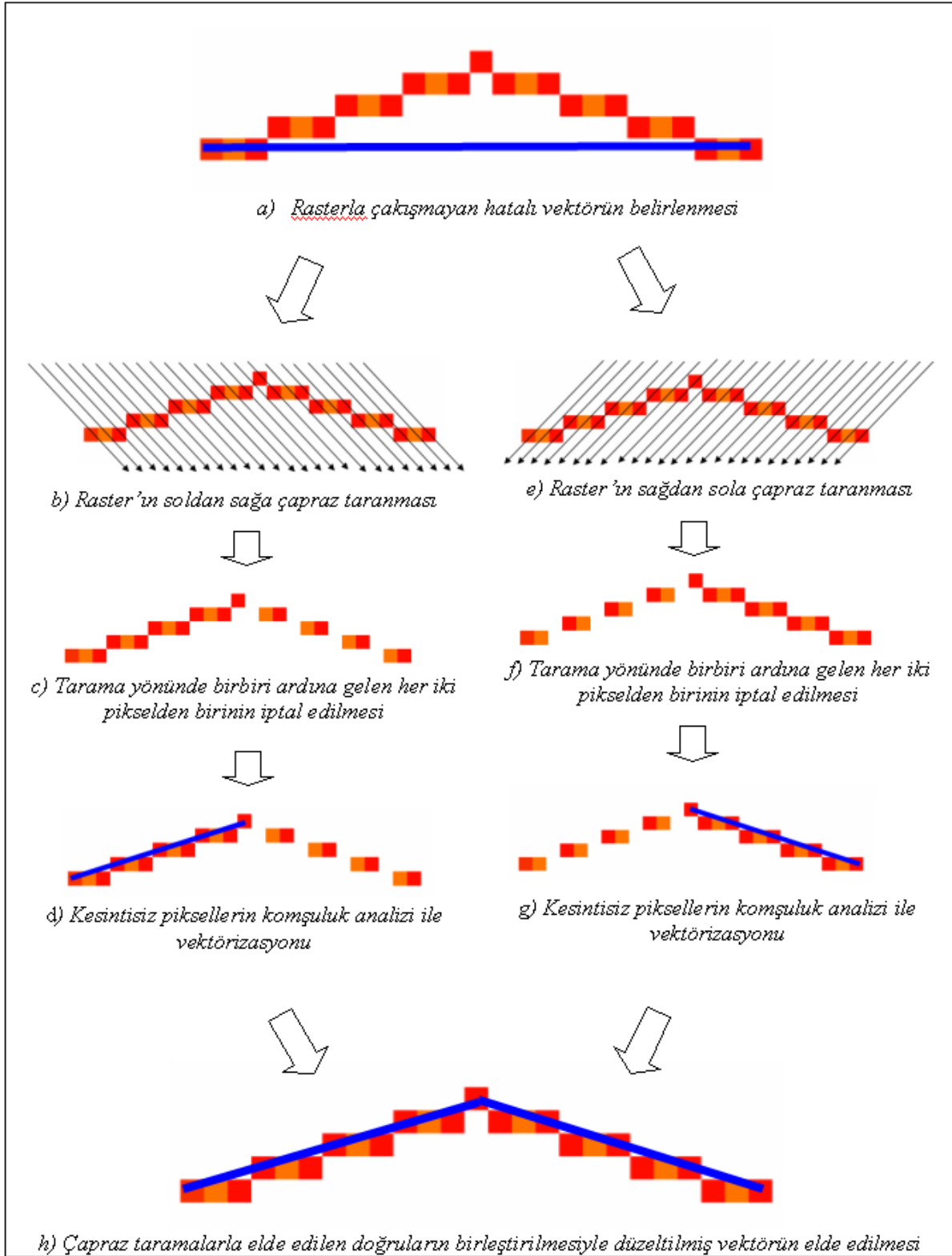
$$Y = \underbrace{((y_a - y_b) / (x_a - x_b))}_m X + \underbrace{((y_b x_a - x_b y_a) / (x_a - x_b))}_n \quad (3.3)$$

şeklindedir.

Vektör doğrunun bu şekilde hesaplanan denkleminde, o vektörün elde edildiği kırmızı piksellerin koordinatları yerine koyulduğunda, tüm pikseller eşitliği belirli bir limit (Bkz. Bölüm 3.3.1.6) dahilinde sağlar ise, elde edilen vektörün doğruluğuna, aksi takdirde hatalı olarak elde edildiğine karar verilmektedir. Bu işlemin sonucunda hata sınırı içinde kalan çizgiler tamamen beyaza dönüştürülerek görüntüden çıkarılmakta, raster veri setinde sadece kırmızı piksellerin oluşturduğu hatalı doğrular bırakılmaktadır. Ardından bu yeni raster görüntü çapraz tarama işlemine tabi tutulmaktadır.

#### 3.3.1.4 Çapraz Tarama ile Hatalı Doğruların Elde Edilmesi

Hatalı doğrulara ait kırmızı piksellerin oluşturduğu raster görüntü 45 derecelik açılarla, önce soldan sağa, ikinci aşamada ise sağdan sola taranmaktadır. Çapraz taramanın temeli, tarama yönündeki ardışık piksellerden birinin iptal edilmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil 3.16 Çapraz taramalarla hatalı doğruların elde edilmesi

Şekil 3.16'deki örnek incelenecek olursa, görüntü soldan sağa çapraz taranıp, tarama yönünde ardışık piksellerden biri iptal edildiğinde, sağ kanattaki doğru parçası kesikli bir hale dönüşmektedir (Şekil 3.16c). Ardından komşuluk analizi ile pikseller izlendiğinde sol

kanattaki doğru parçasını elde etmek mümkün olmaktadır (Şekil 3.16d). Komşuluk analizi esnasında belirli bir uzunluktan küçük piksellerden oluşan doğruların göz ardı edilmesi ile sağ kanattaki ikişer pikselden oluşan doğrular dikkate alınmamaktadır.

İkinci aşamada görüntü sağdan sola tarandığında ise aynı yöntemle bu kez sağ kanattaki doğru parçası elde edilmektedir (Şekil 3.16e, f, g). Her iki taramanın ardından elde edilen doğru parçaları bir araya getirilerek raster görüntü doğru bir şekilde vektörize edilmiş olmaktadır (Şekil 3.16h).

### 3.3.1.5 Elde Edilen Vektör Veri Üzerinde Gerçekleştirilen Topolojik Düzeltmeler

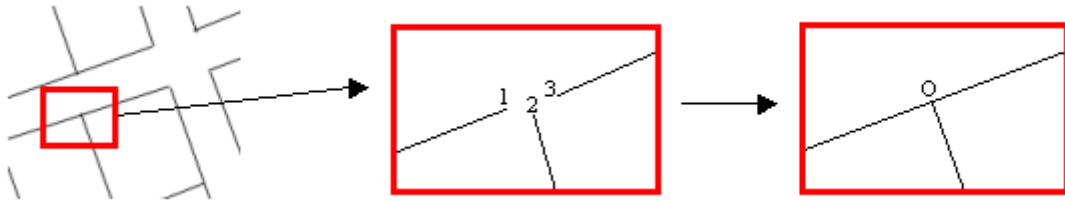
Yatay, düşey ve çapraz taramaların ardından elde edilen tüm doğrular bütünleştirilerek vektör veri elde edilmekte, sonraki adımda ise elde edilen vektör veri üzerinde topolojik düzeltmeler gerçekleştirilmektedir.

Elde edilen doğruların birleşim noktaları üzerinde yapılan topolojik düzeltmeler, vektör yapının CBS ve diğer uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılabilmesi açısından çok önemlidir. Söz konusu düzeltmeler ilerleyen bölümlerde açıklanmaktadır.

#### 3.3.1.5.1 Doğru Parçalarının Uç Noktalarının Bir Araya Getirilmesi

Özellikle köşe noktalarında ortaya çıkan bu olumsuz durum, belirlenen kriterin altında (Bkz. Bölüm 3.3.1.6) birbirine yakın mesafede bulunan doğru uçlarının düzeltilmesi ile giderilmektedir. Buna göre bir arada olması gereken iki yada daha fazla doğru ucuna ait koordinatların ortalaması alınarak, bu uçlar aynı noktaya taşınmaktadır (Şekil 3.17).

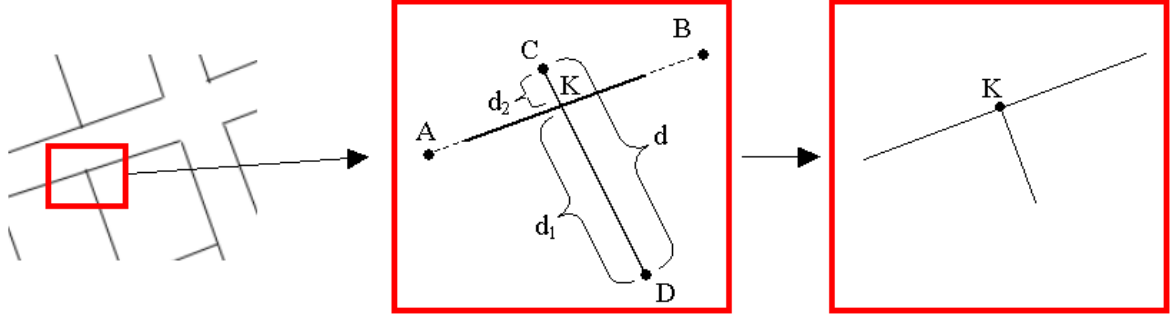
$$X_o = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n \quad , \quad Y_o = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) / n \quad (3.4)$$



Şekil 3.17 Doğru parçalarının uç noktalarının bir araya getirilmesi

#### 3.3.1.5.2 Sarkan Doğru Uçlarının Düzeltilmesi

“Overshoot” hatası olarak bilinen bu hata, belirli bir limit içinde kalan (Bkz. Bölüm 3.3.1.6) sarkan doğru uçlarının olması gereken yere taşınması ile düzeltilmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18  $d_1 + d_2 = d$  ve  $d_2 < p$  ise C noktası sarkan noktadır

Bunun için önce doğruların kesişim noktasının koordinatları hesaplanmaktadır. Bölüm 2.3'te de açıklandığı üzere  $A(x_a, y_a)$  ve  $B(x_b, y_b)$  gibi iki uç noktası ile belirli bir doğru parçasının denklemi;

$$Y = \underbrace{\left( \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b} \right)}_{m_1} X + \underbrace{\left( \frac{y_b x_a - x_b y_a}{x_a - x_b} \right)}_{n_1} \quad (3.5)$$

şeklinde dir. Uç noktaları  $C(x_c, y_c)$  ve  $D(x_d, y_d)$  olan bir doğrunun denklemi ise;

$$Y = \underbrace{\left( \frac{y_c - y_d}{x_c - x_d} \right)}_{m_2} X + \underbrace{\left( \frac{y_d x_c - x_d y_c}{x_c - x_d} \right)}_{n_2} \quad (3.6)$$

şeklinde olacaktır.  $y = m_1 x + n_1$  ve  $y = m_2 x + n_2$  şeklindeki bu iki doğru denklemini birbirine eşitlenirse kesişim noktasının koordinatları için;

$$Y_k = \frac{(n_2 - n_1)}{(m_1 \cdot m_2)} m_1 + n_1, \quad X_k = \frac{(n_2 - n_1)}{(m_1 \cdot m_2)} \quad (3.7)$$

formülüne ulaşılır. Yukarıdaki  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $n_1$  ve  $n_2$  değerleri yerine koyulursa,

$$Y_k = \left( \frac{(y_d x_c - x_d y_c)}{(x_c - x_d)} - \frac{(y_b x_a - x_b y_a)}{(x_a - x_b)} \right) / \left( \frac{(y_a - y_b)}{(x_a - x_b)} - \frac{(y_c - y_d)}{(x_c - x_d)} \right) \\ * \left( \frac{(y_a - y_b)}{(x_a - x_b)} \right) + \frac{(y_b x_a - x_b y_a)}{(x_a - x_b)} \quad \text{ve,} \quad (3.8)$$

$$X_k = \left( \frac{(y_d x_c - x_d y_c)}{(x_c - x_d)} - \frac{(y_b x_a - x_b y_a)}{(x_a - x_b)} \right) / \left( \frac{(y_a - y_b)}{(x_a - x_b)} - \frac{(y_c - y_d)}{(x_c - x_d)} \right) \quad (3.9)$$

eşitlikleri ortaya çıkacaktır.

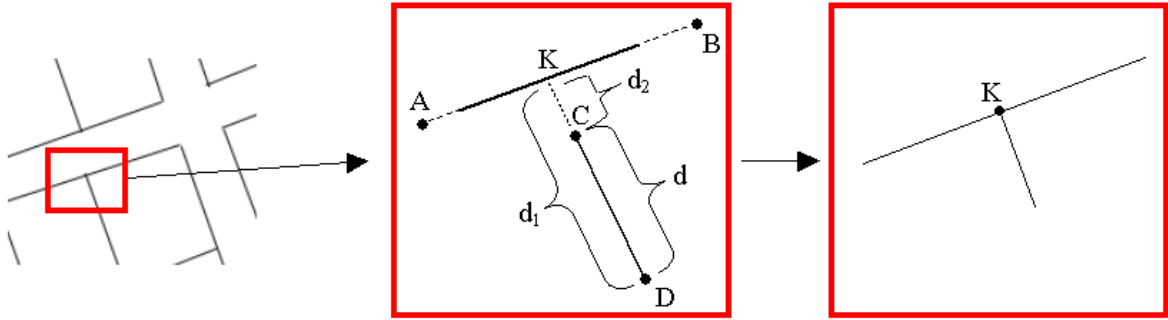
Kesişim noktasının koordinatları bu şekilde hesaplandıktan sonra aşağıdaki formül kullanılarak, bu noktanın her iki doğrunun uç noktalarına olan mesafeleri hesaplanmaktadır:

$$d_n = \sqrt{(x_n - x_k)^2 + (y_n - y_k)^2} \quad (3.10)$$

Şekil 3.18’de görüldüğü gibi, herhangi bir doğrunun boyu ( $d$ ), uç noktalarının kesişim noktasına olan mesafelerinin ( $d_1$  ve  $d_2$ ) toplamına eşit ve bu mesafelerden biri belirlenen limitten ( $p$ ) küçükse, söz konusu uç noktanın sarkan nokta olduğu anlaşılmaktadır. Ardından bu noktanın yeri kesişim noktasına taşınarak sarkan nokta düzeltilmektedir.

### 3.3.1.5.3 Erişmeyen Doğru Uçlarının Düzeltilmesi

“Undershoot” hatası olarak bilinen bu hata, belirli bir limit içinde kalan (Bkz. Bölüm 3.3.1.6) erişmemiş doğru uçlarının olması gereken yere taşınması ile düzeltilmektedir. Şekil 3.19’da görüldüğü gibi, doğrunun boyu ( $d$ ), uç noktalarının kesişim noktasına olan mesafelerinin ( $d_1$  ve  $d_2$ ) toplamından küçük ve bu mesafelerden biri belirlenen limitten ( $p$ ) küçükse, söz konusu uç noktanın erişmeyen nokta olduğu anlaşılmaktadır. Ardından bu nokta kesişim noktasına taşınarak erişmeyen nokta hatası düzeltilmektedir.

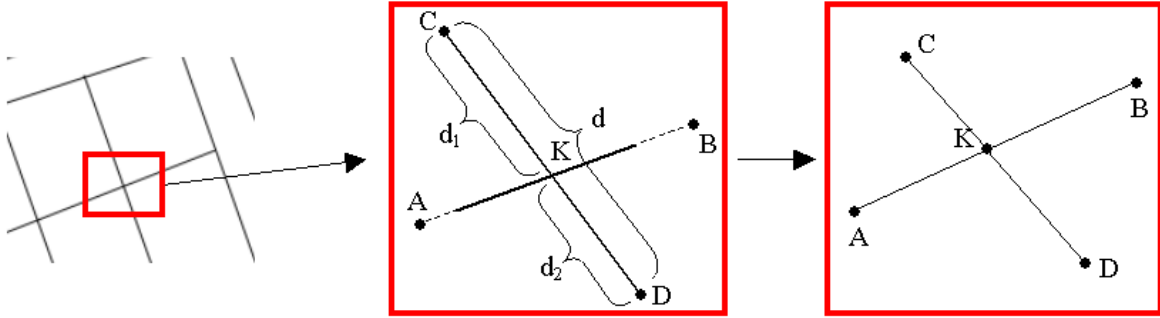


Şekil 3.19  $d_1 + d_2 > d$  ve  $d_2 < p$  ise C noktası erişmeyen noktadır

### 3.3.1.5.4 Kesişim Noktalarının Tanımlanması

Vektörizasyon sonrasında görsel olarak doğrular kesişiyor gibi görünse de aslında kesişmeyip birbirlerinin üzerinden geçmektedir. Bu aşamada bu türden noktalar tespit edilerek, kesişim noktalarına bağlı olarak doğruların başlangıç ve bitiş koordinatları yeniden belirlenmektedir. Eğer Şekil 3.20’de görüldüğü gibi, doğrunun boyu ( $d$ ), uç noktalarının kesişim noktasına olan

mesafelerinin ( $d_1$  ve  $d_2$ ) toplamına eşit ve bu mesafelerin hepsi de belirlenen limitten ( $p$ ) büyükse, sarkan yada erişmeyen noktanın olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durumda ise, kesişim noktası yeni bir nokta olarak kaydedilmekte ve doğrular parçalanarak dört adet yeni doğru oluşması sağlanmaktadır.



Şekil 3.20  $d_1 + d_2 = d$ ,  $d_2 > p$  ve  $d_1 > p$  ise K noktası yeni noktadır

### 3.3.1.6 Modelleme Ölçütleri

MUSCLE model kullanılarak gerçekleştirilen vektörizasyon işlemlerinde, ilgili bölümlerde de değinildiği üzere bir takım ölçütler mevcuttur. Kullanıcı tarafından tanımlanan bu ölçütlere bağlı olarak vektörizasyonun başarı oranı artmakta yada azalmaktadır. Söz konusu ölçütler şunlardır;

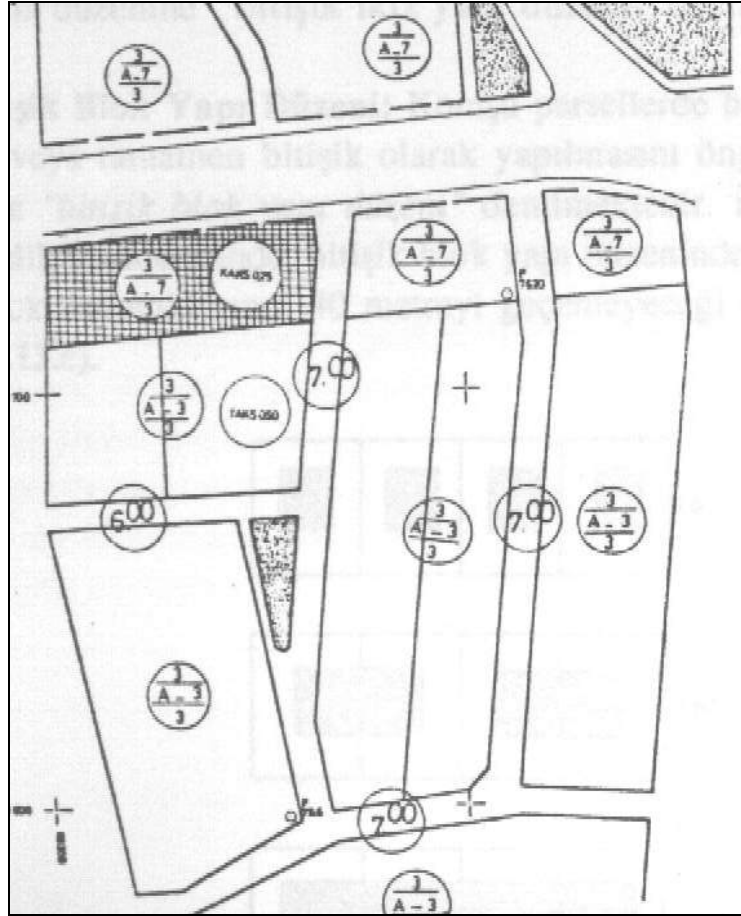
1. Kullanıcı tarafından belirlenen ölçütlerden ilki, raster görüntüde yakalanacak çizgilerin kalınlığıdır. Örneğin kullanıcı bu değer için 3'ü seçtiğinde 3 pikselden daha ince olan çizgiler göz ardı edilmekte ve vektörize edilmemektedir. Bu özellik raster verideki sadece belirli kalınlıktaki çizgilerin elde edilmesi istendiğinde oldukça işe yaramaktadır.
2. Raster verideki ayrıntıların ayıklanması ve vektör veriye sadece istenen kısımların aktarılması noktasında oldukça işe yarayan bir başka ölçüt ise vektörize edilecek doğru uzunluklarının kullanıcı tarafından belirlenebilmesidir. Örneğin 6 değeri seçildiğinde 6 pikselden küçük olan doğrular göz ardı edilmektedir.
3. Algoritmanın detayları açıklanırken, yatay ve düşey tarama sonucu düzgün bir şekilde elde edilemeyen doğruların tespiti ve çapraz taramalarla düzeltildiğinden bahsedilmiştir. Düzgün olarak elde edilemeyen bu doğruların tespiti, raster verideki çizgilerden ne kadar saptığına bağlı olarak yapılmaktadır. Kullanıcı işlemin başında bu sapma oranını da belirleyebilmektedir. Örneğin bu kriter için 3 değerini seçtiğinde,

raster verideki orjinalinden 3 pikselden daha fazla uzaklaşan vektörize edilmiş doğrular hatalı, daha az uzaklaşanlar ise hatasız kabul edilecektir.

4. Yine Bölüm 3.3.1.5’de bahsedilen sarkan nokta, erişmeyen nokta ve uç noktaların bir araya getirilmesi gibi topolojik hataların giderilmesinde gerekli olan ölçüt, vektörizasyonun başında kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Örneğin bu değer için 3 seçildiğinde, 3 pikselden daha az uzunlukta sarkan yada erişmeyen uçlar giderilerek, olması gereken yerlere taşınmaktadır.

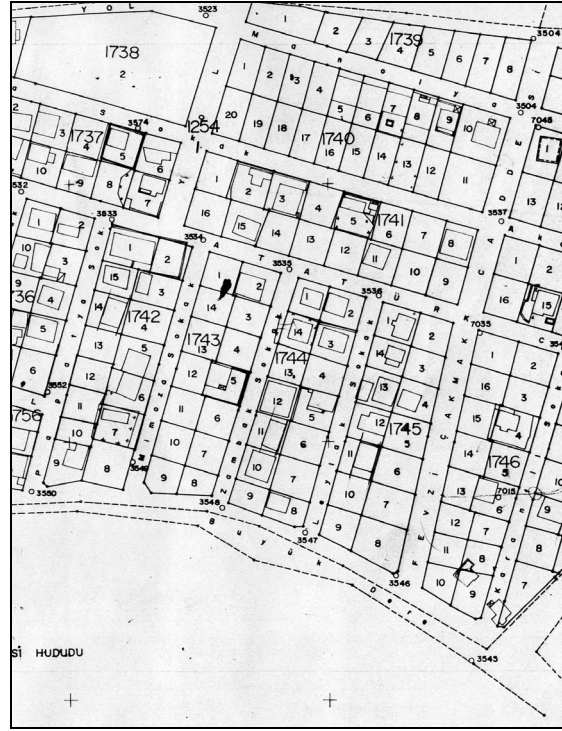
### 3.3.1.7 Yöntemin Test Edilmesi

Geliştirilen yöntem (MUSCLE), WinTopo ve Scan2CAD isimli iki farklı dönüşüm yazılımı ile karşılaştırıldı. Bunun için Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de görülen görüntüler her üç yazılımla da değerlendirilerek farklı sonuçlar elde edildi. Bu sonuçlar Çizelge 3.2’de görülmektedir.

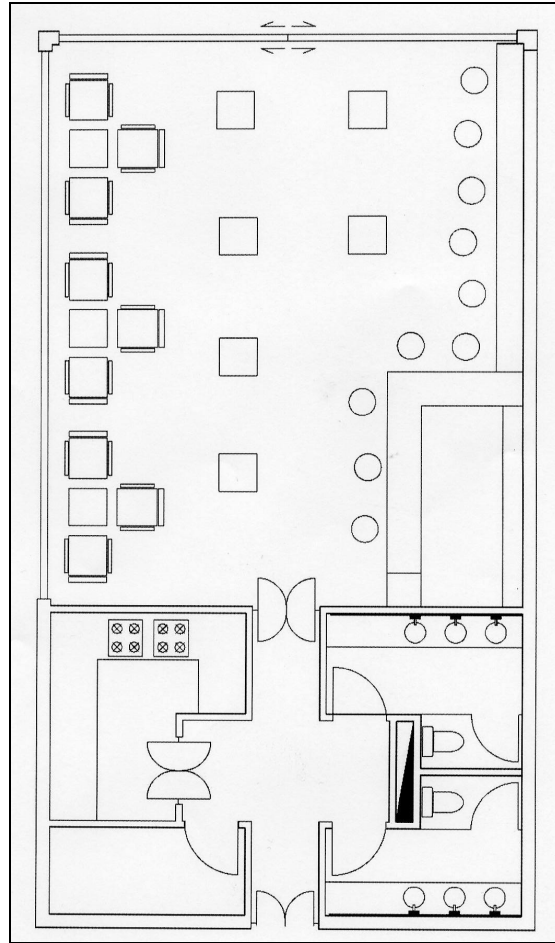


Şekil 3.21 Test görüntüsü 1





Şekil 3.22 Test görüntüsü 2



Şekil 3.23 Test görüntüsü 3

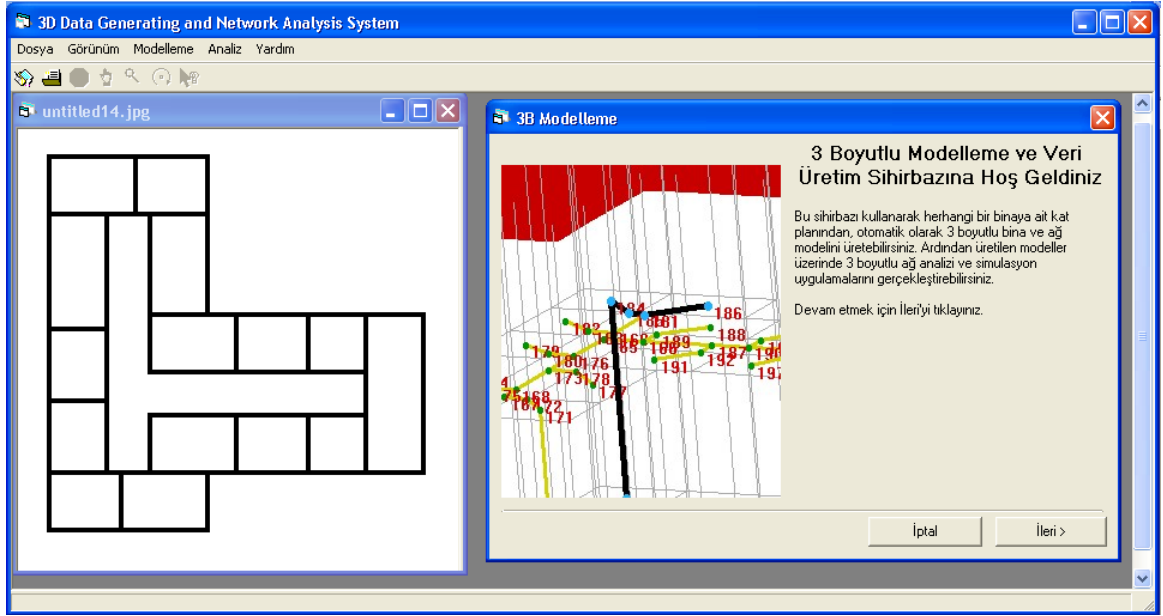
Çizelge 3.2 Test sonuçları

Görüntü No	Elde Edilen Objeler Sayısı			Süre		
	1	2	3	1	2	3
MUSCLE	628	4074	1391	6 sn	68 sn	33
WinTopo	2308	7040	3788	<0.5 sn	3 sn	2 sn
Scan2CAD	712	1855	573	3 sn	36 sn	22 sn

Elde edilen sonuçlara bakıldığında şunlar göze çarpmaktadır. WinTopo yazılımı işlemi diğerlerine göre çok daha hızlı bir şekilde tamamlamasına rağmen, çizgileri çok fazla parçaya bölmekte, dolayısı ile çok fazla obje oluşmaktadır. Bu da vektörizasyon sonrası yoğun bir düzeltme (Post Processing) sürecini gerektirmekte ve zaman kaybına yol açmaktadır. Scan2CAD kabul edilebilir miktarda obje üretmekte ve oldukça iyi bir vektörizasyon yapmaktadır. Bununla birlikte elde edilen vektör verideki bazı çizgilerde hatalar olabilmektedir. MUSCLE’ın ise özellikle düz çizgilerden oluşan görüntülerde iyi bir başarı sağladığı görülmüştür. Köşe noktalarında iyi birleştirme yapmaktadır. Her bir parça çizgi için yine bir parça vektör oluşmaktadır, böylece çok parçalı çizgilerin oluşmasının önüne geçilmektedir. Bu durum düzeltme sürecinde büyük zaman avantajı sağlamaktadır. Bununla birlikte algoritma benzerlerine göre nispeten daha uzun zaman almaktadır. Bunun sebebi ise yöntemin Visual Basic 6.0 programlanması ve kodun optimize edilmemiş olmasıdır. Daha uygun bir platformda (Örneğin C++), profesyonel bir yazılımcı tarafından, optimize edilerek tekrar kodlanırsa performansı çok daha fazla artacaktır.

### 3.3.2 3B Modelleme ve Veri Üretim Sihirbazı

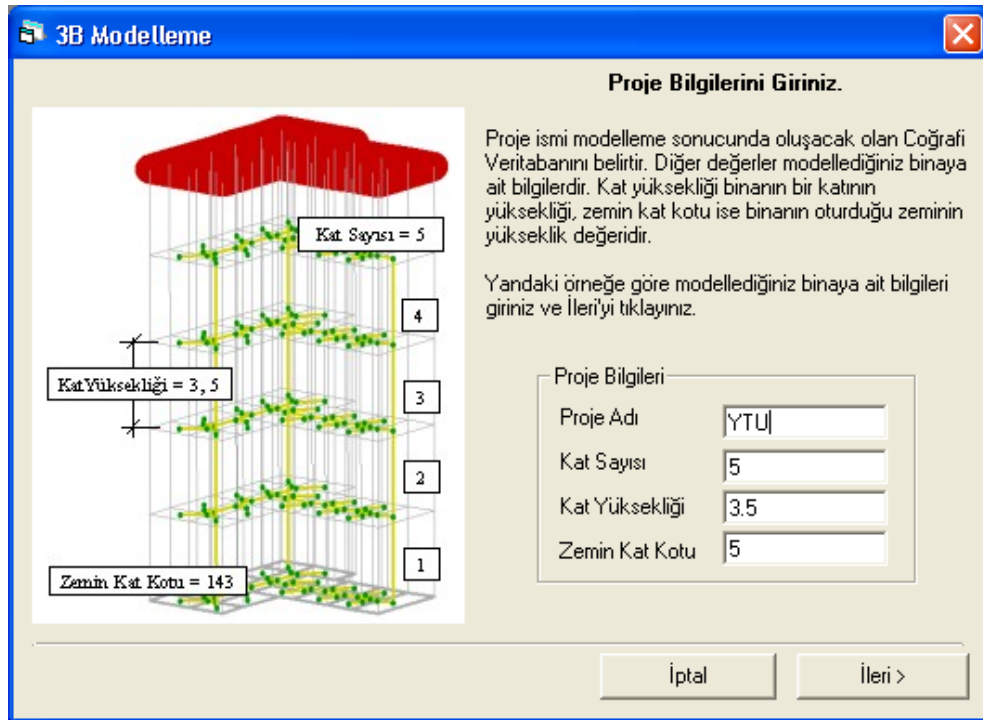
Otomatik Veri Üretim Modülünün arayüzü, verinin kullanıcı etkileşimli olarak adım adım üretilmesini sağlayacak şekilde, “sihirbaz” (wizard) yaklaşımıyla tasarlanmıştır. Söz konusu sihirbaz kullanılarak ekranda açılmış olan kat planı işlenerek Ağ ve Bina Modeli ile En Kısa Yolların otomatik olarak üretimi ve konumsal veri tabanına aktarılması mümkün olmaktadır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 3B Modelleme ve Veri Üretim Sihirbazı

### 3.3.2.1 Proje Bilgilerinin Girilmesi

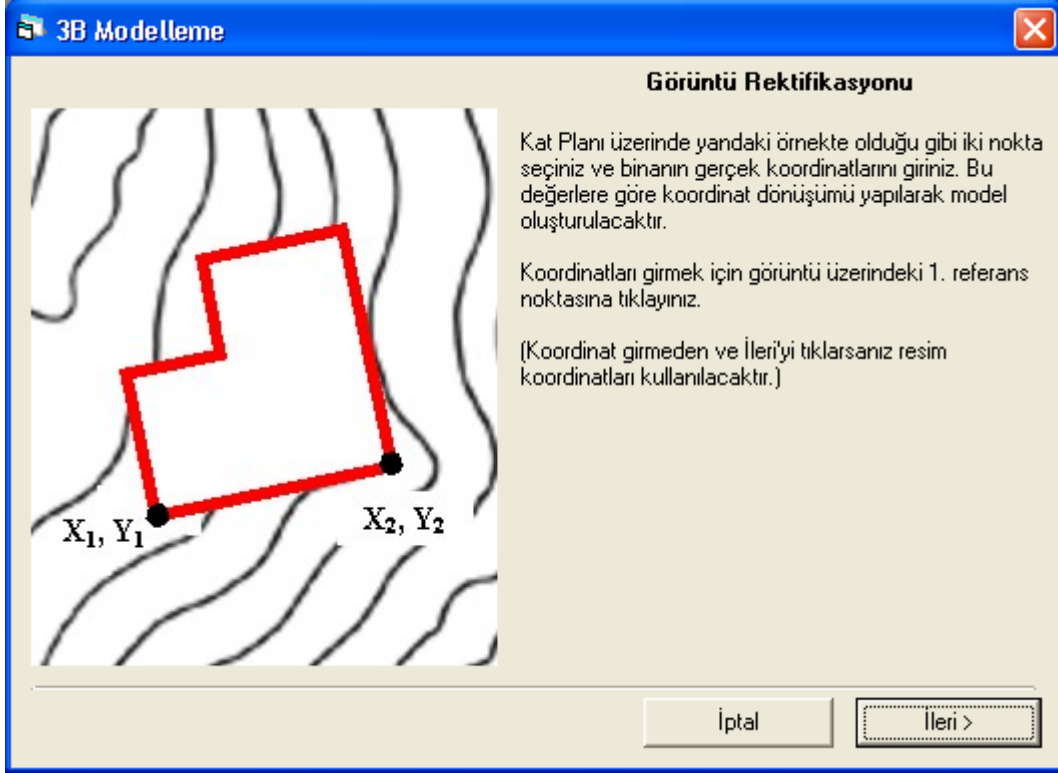
Veri üretim sihirbazının ilk adımında oluşturulacak proje ile ilgili bilgiler girilmektedir. Proje (konumsal veri tabanı) ismi, kat planı verilen binanın kaç katlı olarak modelleneceği, bir katın yükseklik miktarı ve binanın oturduğu zeminin yüksekliği gibi bilgiler ile 3B Bina ve Ağ modelinin yapısı tanımlanmaktadır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Proje Bilgilerinin Girilmesi

### 3.3.2.2 Görüntü Rektifikasyonu

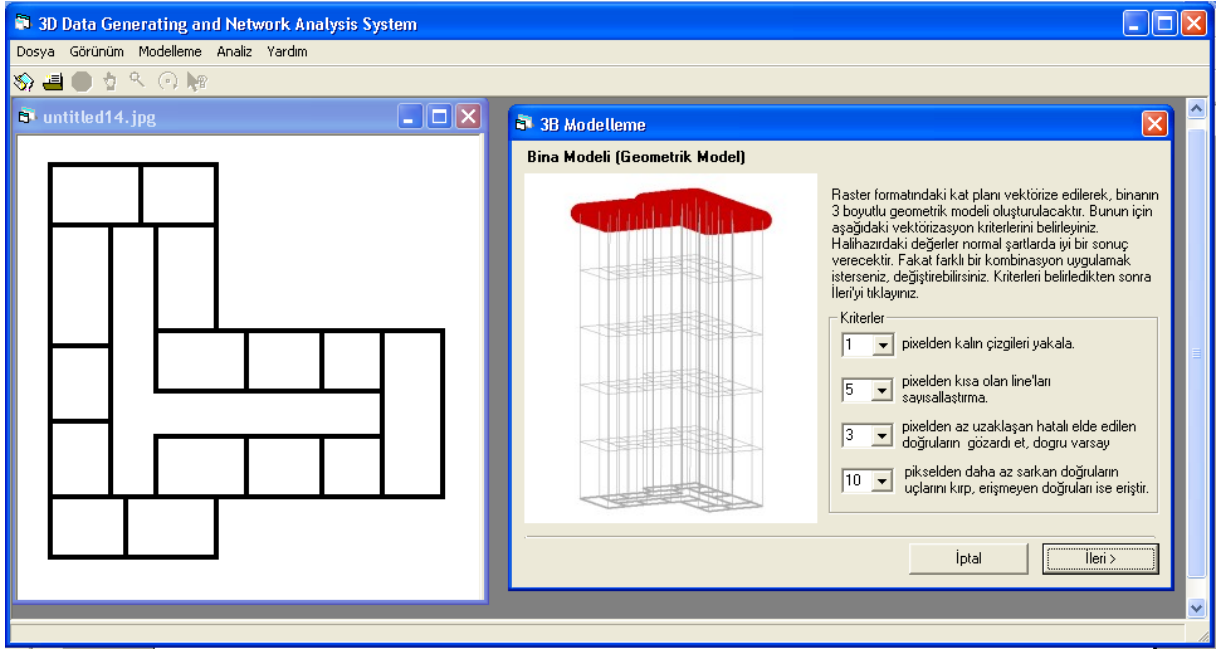
Bir sonraki aşamada kullanıcıya görüntü rektifikasyonu yapma imkanı sağlanmaktadır. Böylece koordinat dönüşümü yapılarak resim koordinatları yerine gerçek koordinatların esas alındığı 3B bir model oluşturulabilmektedir (Şekil 3.26).



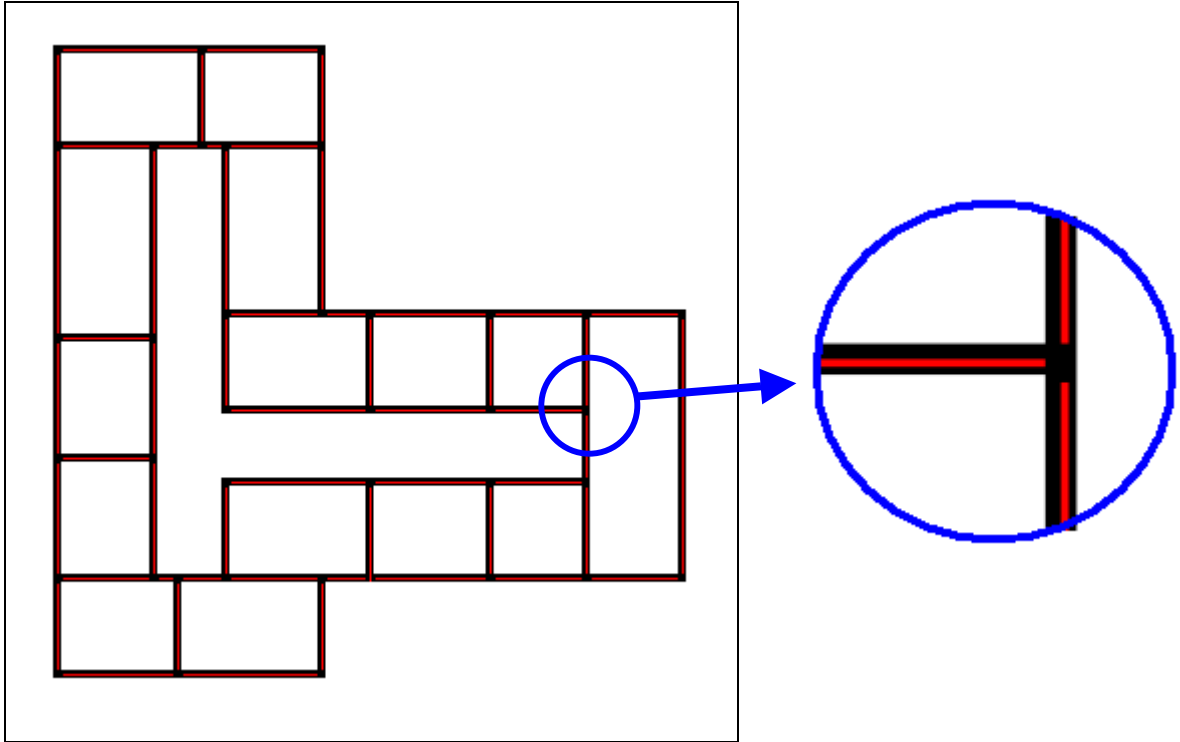
Şekil 3.26 Görüntü Rektifikasyonu

### 3.3.2.3 Üç Boyutlu Bina Modelinin Elde Edilmesi

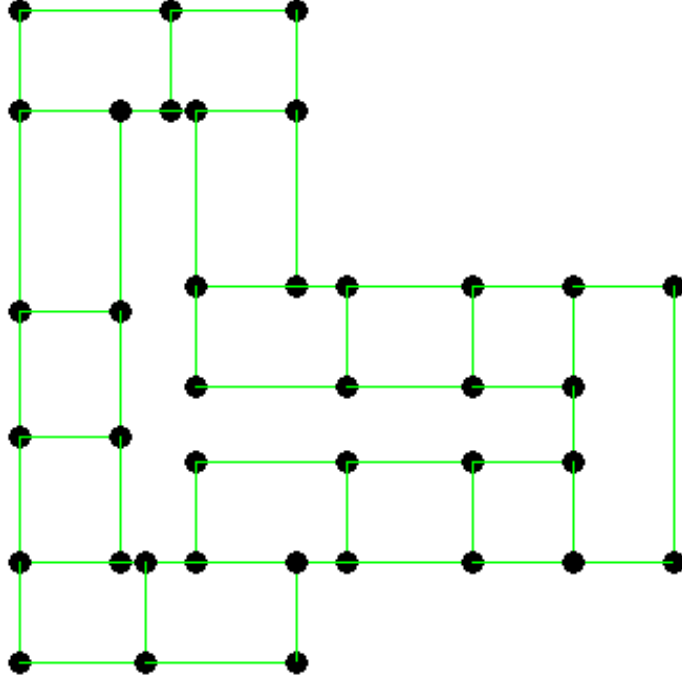
Veri üretim sihirbazının bir sonraki aşaması ile Bölüm 3.3.1'de detayları açıklanan MUSCLE Model yöntemi kullanılarak, Bina Modeli elde edilmektedir. İşleme başlamadan önce Bölüm 3.3.1.6'da açıklanan ölçütler kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Ardından Şekil 3.27'de görüldüğü üzere, önce raster veri yapısındaki görüntü (kat planı) işleme sokulmaktadır. Elde edilen kırmızı çizgiler üzerinde gerçekleştirilen topolojik düzeltmelerin ardından kesişim noktaları belirlemekte (Şekil 3.28) ve böylece çizgi ve noktalardan oluşan 2B vektörel bir yapıya ulaşılmaktadır (Şekil 3.29). Ardından kullanıcı tarafından girilen proje bilgilerine bağlı olarak (kat sayısı, kat yüksekliği vb.) iki boyutlu vektörel veri, farklı yükseklik değerleri ile her kat için tekrarlanmakta (Şekil 3.30) ve otomatik olarak üç boyutlu bina modeli elde edilmektedir (Şekil 3.31).



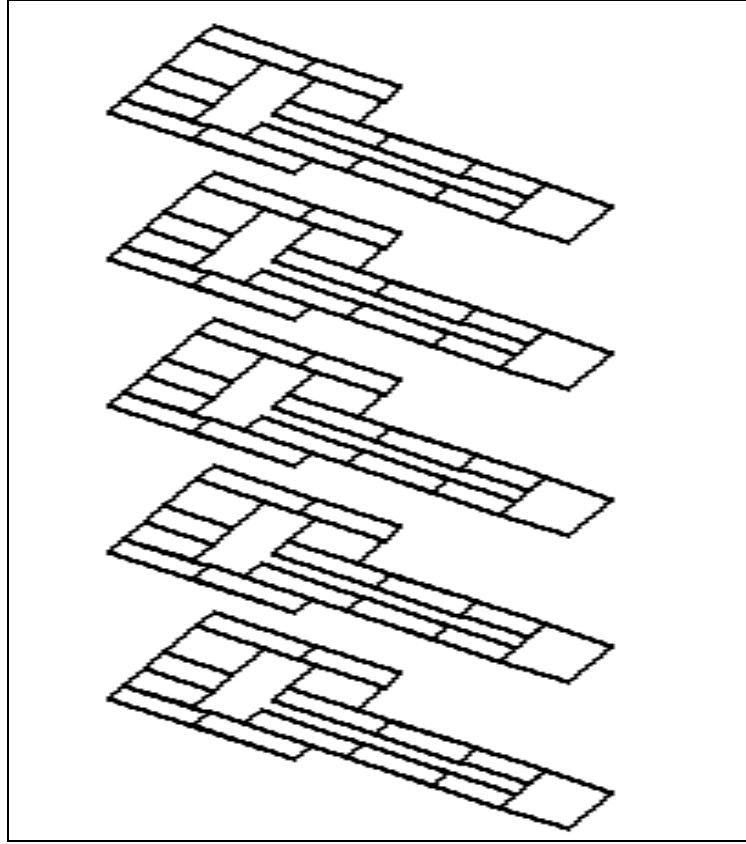
Şekil 3.27 3B Bina Modeli için modelleme kriterlerinin girilmesi



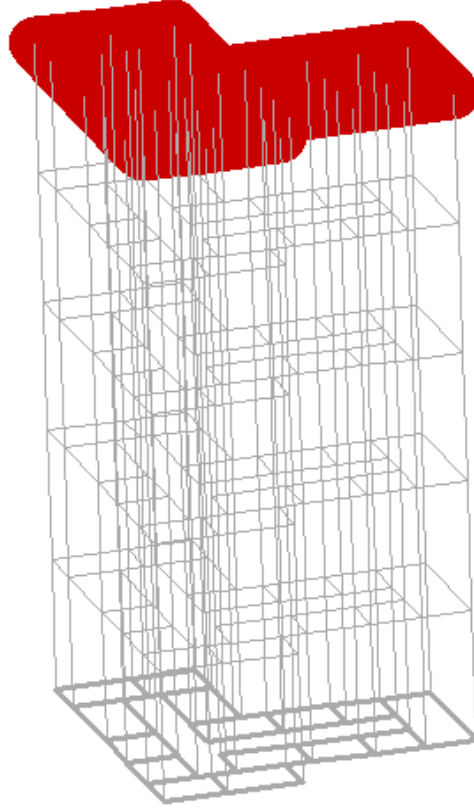
Şekil 3.28 MUSCLE Model ile kat planının vektörizasyonu.



Şekil 3.29 Vektörizasyon sonucu elde edilen 2B kat planı.



Şekil 3.30 Proje bilgilerine bağlı vektör verinin kat sayısınca çoğaltılması



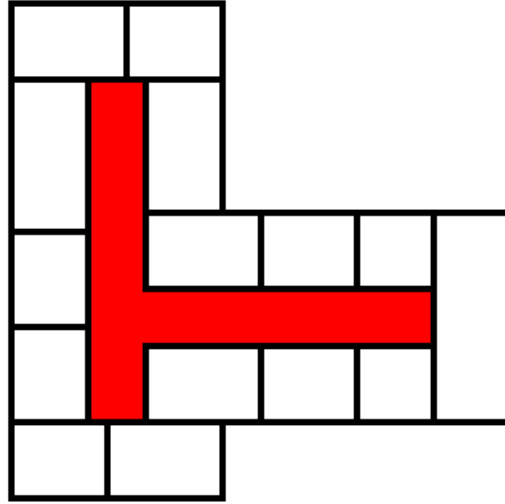
Şekil 3.31 3B Bina modeli

### 3.3.2.4 Üç Boyutlu Ağ Modelinin Elde Edilmesi

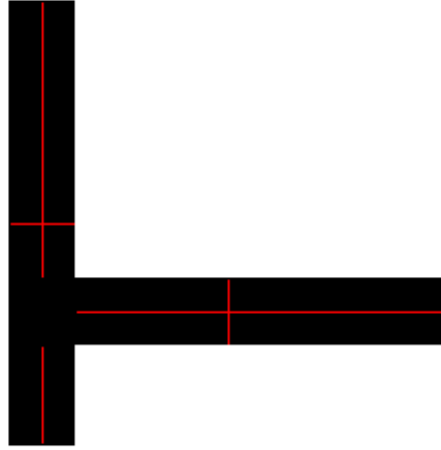
Bina modeli elde edildikten sonra Ağ modelinin elde edilmesi aşamasına geçilmektedir. Ağ Modelinin elde edilmesi iki aşamadan oluşmaktadır. Önce koridor, ardından odalar elde edilmekte sonrasında ise bütünleştirilerek 3B modele ulaşılmaktadır.

#### 3.3.2.4.1 Koridorun Elde Edilmesi

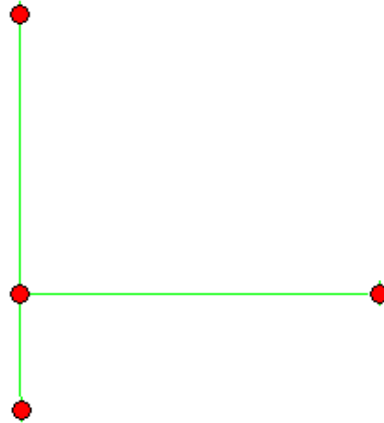
Odaların binadaki diğer tüm birimlerle bağlantısını sağladığı için, koridorlar kat ölçeğinde ana omurga niteliğindedir. Dolayısı ile koridorun belirlenmesi ve modellenmesi oldukça önem arz etmektedir. Koridorun modellenmesi aşamasında, veri üretim sihirbazı kullanıcıdan koridorun yerini göstermesini istemektedir. Kullanıcı tarafından koridorun kat planındaki yeri gösterildikten sonra (Şekil 3.32), algoritma görüntüde sadece koridoru bırakarak çizgi yapısına dönüştürmekte, ardından MUSCLE Model yöntemiyle koridor orta hattını belirlemektedir (Şekil 3.33). Belirlenen orta hatlar üzerinde gerçekleştirilen topolojik düzeltmelerin ardından koridora ait graf yapısı (hat ve düğümler) ve koordinatları elde edilmektedir (Şekil 3.34).



Şekil 3.32 Kullanıcı tarafından koridorun yerinin gösterilmesiyle koridorun renklendirilmesi



Şekil 3.33 MUSCLE Model ile koridor orta çizgilerinin belirlenmesi.

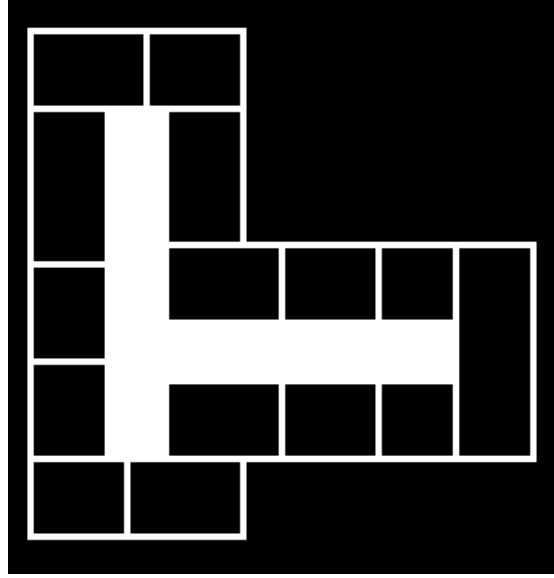


Şekil 3.34 Koridorun graf yapısındaki 2B modeli.

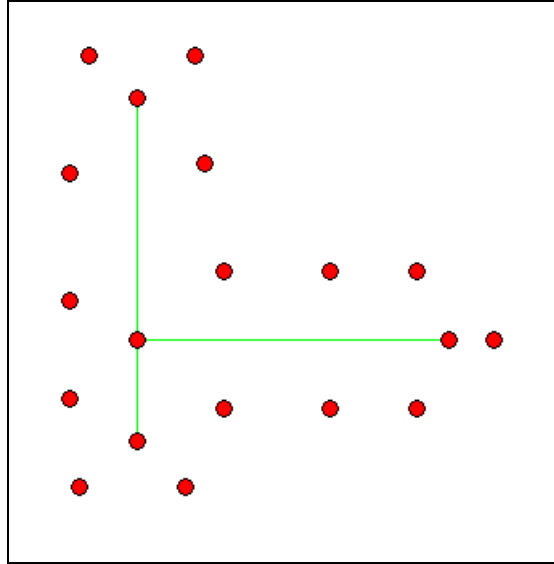


### 3.3.2.4.2 Odaların Elde Edilmesi

Odalar belirlenirken ise bu kez görüntüden koridor çıkarılmakta, sadece odalar bırakılmakta ve siyaha dönüştürülmektedir (Şekil 3.35). Böylece odaların çizgi özelliği göstermesi sağlanmaktadır. Ardından yöntemin uygulanması ile oda orta noktaları elde edilmekte ve bu noktalar odaları temsil eden birer düğüm olarak belirlenmektedir (Şekil 3.36).



Şekil 3.35 Koridorun çıkartılması ve odaların yalnız bırakılması.

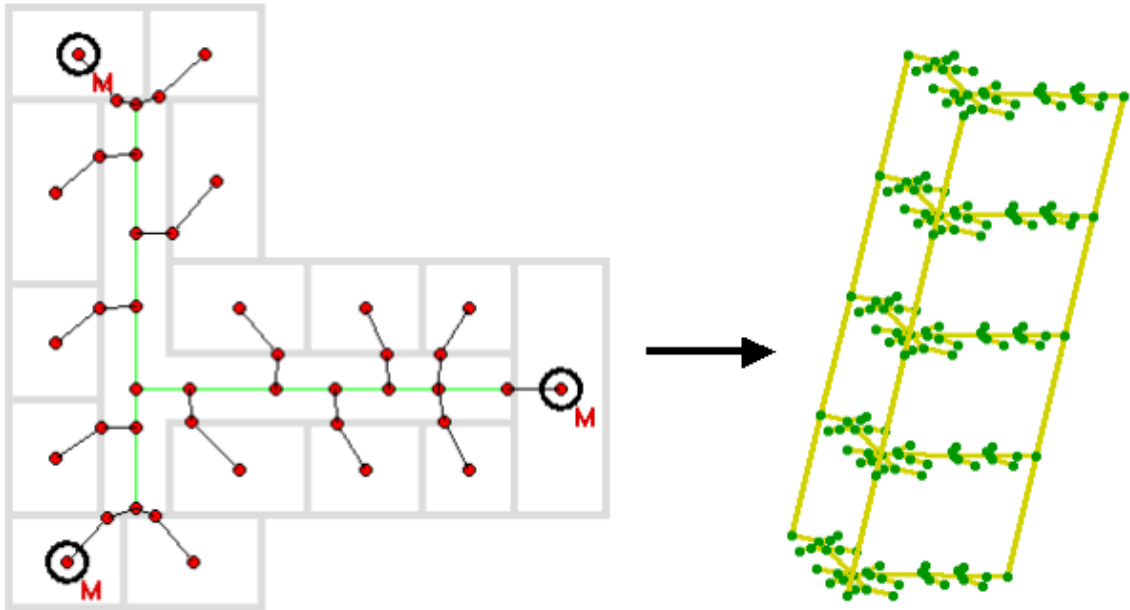


Şekil 3.36 MUSCLE Model ile elde edilen oda düğümlerinin koridor modeli ile birleştirilmesi.

### 3.3.2.4.3 Koridor ve Odaların Bütünleştirilmesi

Koridor ve odaları gösteren düğümler elde edildikten sonra bunların birbirleri ile bağlantılarının sağlanması aşamasına geçilmektedir. Kullanıcı etkileşimli olarak gerçekleştirilen bu işlem her bir oda için şu şekilde yapılmaktadır. Odayı temsil eden düğüme tıklıldığında birleştirme işlemi başlamakta, devam eden her tıklamada yeni ara düğümler eklenmektedir. Koridor hattı üzerindeki bir noktaya tıklıldığında yazılım bunun son düğüm olduğunu algılamakta ve hattın üstüne ekleyerek bağlantıyı sağlamaktadır. Bu işlem esnasında üzerine tıklanan hat iki parçaya bölünmekte ve araya yeni bir düğüm eklenmektedir. Bu işlem kullanıcı tarafından, odadan koridora çıkacak olan bir kimsenin izleyeceği yola uygun bir biçimde her oda için tekrarlanmaktadır. Dolayısı ile hat-düğüm yapısına dayalı olarak modellenen koridorun, graf yapısında meydana gelen her değişiklik, düğüm ve hatların güncellenmesi açısından geri planda oldukça karmaşık algoritmaların çalışmasını gerektirmektedir.

Odaların koridora bağlanmasıyla kat ölçeğindeki 2B ağ bu şekilde elde edildikten sonra, veri üretim sihirbazı kullanıcıdan merdiven düğümlerinin yerini göstermesini istemektedir. Kullanıcının bu düğümlere tıklamasının ardından işleme devam edilmekte, iki boyutlu ağ modeli proje bilgilerine bağlı olarak (kat sayısı, kat yüksekliği vb.) her kat için yeniden üretilmektedir. Ardından ardışık katların merdiven düğümleri birbirine bağlanmakta ve otomatik bir şekilde 3B graf yapısındaki topolojik Ağ Modeli elde edilmektedir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 3B Ağ Modelinin otomatik olarak üretilmesi.

### 3.3.3 Fiziksel Tasarım (Konumsal Veri Tabanı)

Veri Üretim ve Modelleme Modülü ile elde edilen Bina ve Ağ Modelleri konumsal veri tabanında bir araya getirilmektedir. Konumsal veri tabanının fiziksel yapısı Bölüm 3.1’de açıklanan kavramsal ve mantıksal tasarımlara uygun olarak tasarlanmıştır ve veri üretim sürecinin sonunda her bir proje için otomatik olarak oluşturulmaktadır. Söz konusu fiziksel tasarım şu şekildedir;

Bina modeli iki farklı tablodan oluşmaktadır: Points ve Lines (Şekil 3.38). Points tablosu binadaki tüm köşe noktalarını, Lines tablosu ise bu noktaların birleştirilmesi ile oluşan doğruları içermektedir ve bu doğrular binanın 3B modelinin ekrana çizilmesini sağlamaktadır. Bina modeli sadece binayı görselleştirmek amacı ile oluşturulmuştur. Böylece kullanıcı bina modeliyle birlikte gördüğünde, görsel olarak anlaşılması zor olan Ağ modelini daha iyi analiz edebilecektir. Bina Modeli herhangi bir topolojik bilgi içermemektedir. Dolayısı ile her ne kadar doğrular başlangıç ve bitiş noktalarıyla kayıt altına alınsa da, Ağ Modelinin tersine hat-düğüm yapısı değil spagetti veri yapısı temel alınmıştır.

Points : Tablo					Lines : Tablo	
Point_ID	x	y	z	Start_Point	End_Point	
1	26.001046512	343	5	1	2	
2	98.001046512	343	5	3	4	
3	26.001021978	295	5	5	6	
4	74.001021978	295	5	7	8	
5	26.001036364	199	5	9	10	
6	74.001036364	199	5	11	12	
7	26.001036364	199	5	13	14	

Şekil 3.38 Konumsal veri tabanında bina modeli

Benzer şekilde ağ modeli de iki farklı tablodan oluşmaktadır: Nodes ve Arcs (Şekil 3.39). Tabloların fiziksel yapıları Bina Modeline benzese de Ağ Modelinde her bir düğüm tektir (unique) ve her bir düğümün koordinatı “Nodes” tablosunda bir kez saklanmaktadır. Dolayısı ile tablolar hat-düğüm yapısını esas alan topolojik bir yaklaşımla oluşturulmaktadır. Koordinat bilgileri sayesinde ağ görselleştirilmekte ve düğümler arasındaki mesafeler hesaplanabilmektedir. Arcs tablosu ise düğümler arasındaki bağlantıları (hatları) içermektedir ve bu bağlantılar başlangıç ve bitiş düğümleri ile tanımlıdır. Bunun dışında iki düğüm arasındaki maliyet de Arcs tablosuna kayıtlıdır. Maliyet düğüm koordinatlarına bağlı olarak hesaplanan uzaklık bilgisi olabileceği gibi, zaman vb. gibi ölçütler de kullanılabilir.

Nodes : Tablo				
Node_ID	x	y	z	
1	92.001347826	145	5	
2	286	145	5	
3	92.001	293	5	
4	91.999870229	145	5	
5	92	83	5	
6	62	319	5	
7	50	247	5	
8	134	253	5	

Arcs : Tablo			
FromNode	ToNode	Distance	
1	2	8	
3	4	6	
1	5	6	
6	3	3	
7	8	4	
8	3	8	
4	9	1	

Şekil 3.39 Konumsal veri tabanında ağ modeli

### 3.3.4 En Düşük Maliyetli Yolların Hesaplanması ve Veri Tabanına Kaydedilmesi

Veri üretim sürecinin son aşamasında en düşük maliyetli yollar hesaplanmakta ve konumsal veri tabanında bir araya getirilmektedir. Bölüm 2.3.14’de detaylı olarak açıklanan Dijkstra algoritması (Dijkstra, 1959) kullanılarak gerçekleştirilen işlem ile, Ağ Modelindeki her bir düğüm için, “en az dallanan ağaç” bulunmakta, dolayısı ile diğer tüm düğümlere ulaşmak için gerekli en kısa yollar hesaplanmaktadır. Her bir düğüm için elde edilen “en az dallanan ağaç”, tablo yapısında gösterilmekte ve otomatik olarak konumsal veri tabanında kayıt altına alınmaktadır. Dolayısı ile veri tabanında düğüm sayısınca tablo oluşturulmakta ve her bir tablo da, o düğümden diğer düğümlere en kısa yoldan nasıl gidileceği bilgisini içermektedir. Şekil 3.40’de 44 numaralı düğüme ait tablo görünmektedir. Bu tablodan 44 numaralı düğümden diğer tüm düğümlere en kısa yoldan nasıl ulaşılacağı bilgisini edinmek mümkündür. Buna göre mesela 29 numaralı düğümden 44 numaralı düğüme gitmek için tabloyu incelediğimizde: Node: 29 - Path: 23, Node: 23 - Path: 26, Node: 26 - Path: 46, Node: 46 - Path: 43, Node: 43 - Path: 44 sırasını elde ediyoruz. Dolayısı ile 29 numaralı düğümden 44 numaralı düğüme en uygun yoldan gitmek için 29-23-26-46-43-44 numaralı düğümleri takip edilmelidir.

44 : Tablo				
	Node	Known	Cost	Path
	44	-1	0	
	43	-1	6	44
	46	-1	9	43
	47	-1	10	43
▶	48	-1	14	43
	49	-1	7	43
	26	-1	109	46
	66	-1	109	46
	23	-1	112	26
	6	-1	209	26
	63	-1	112	66
	86	-1	209	66
	24	-1	118	23
	27	-1	116	23
	28	-1	120	23
	29	-1	113	23
	64	-1	118	63

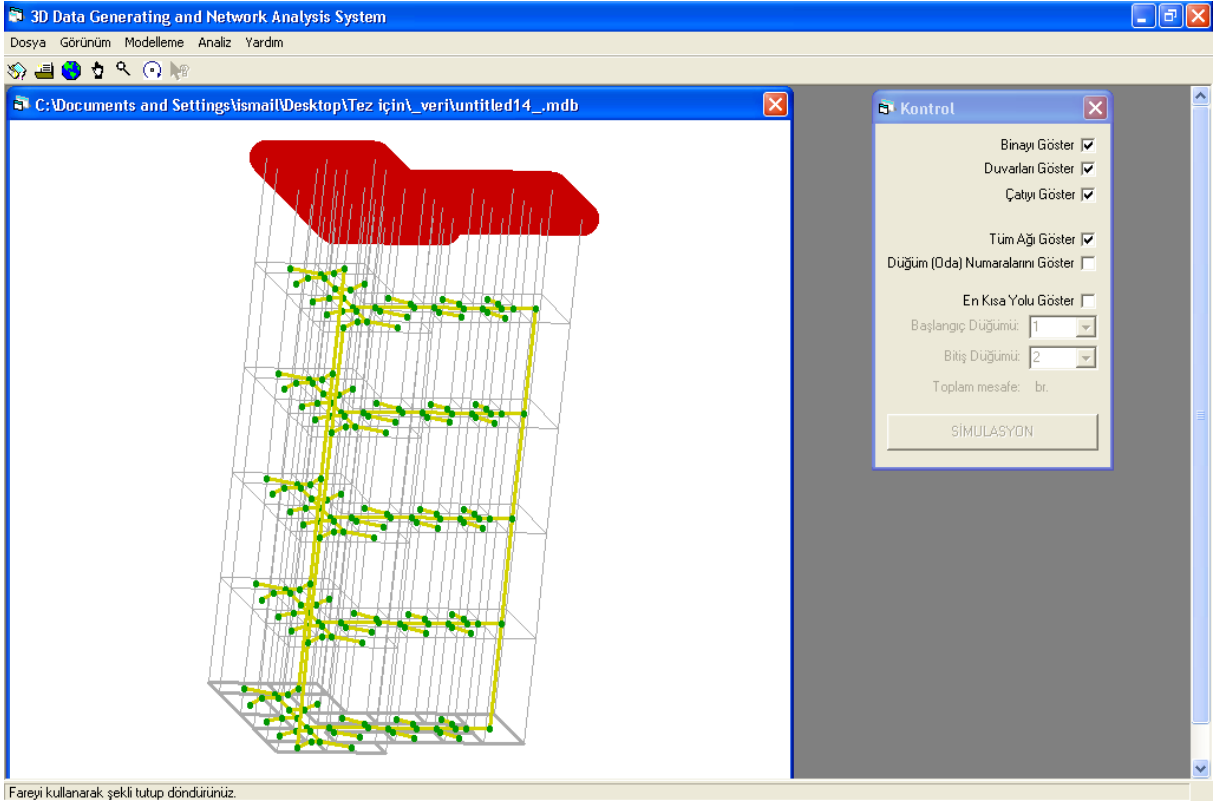
Şekil 3.40 44 numaralı düğüm için en az dallanan ağacın konumsal veri tabanında gösterimi

### 3.4 3B Ağ Analizi

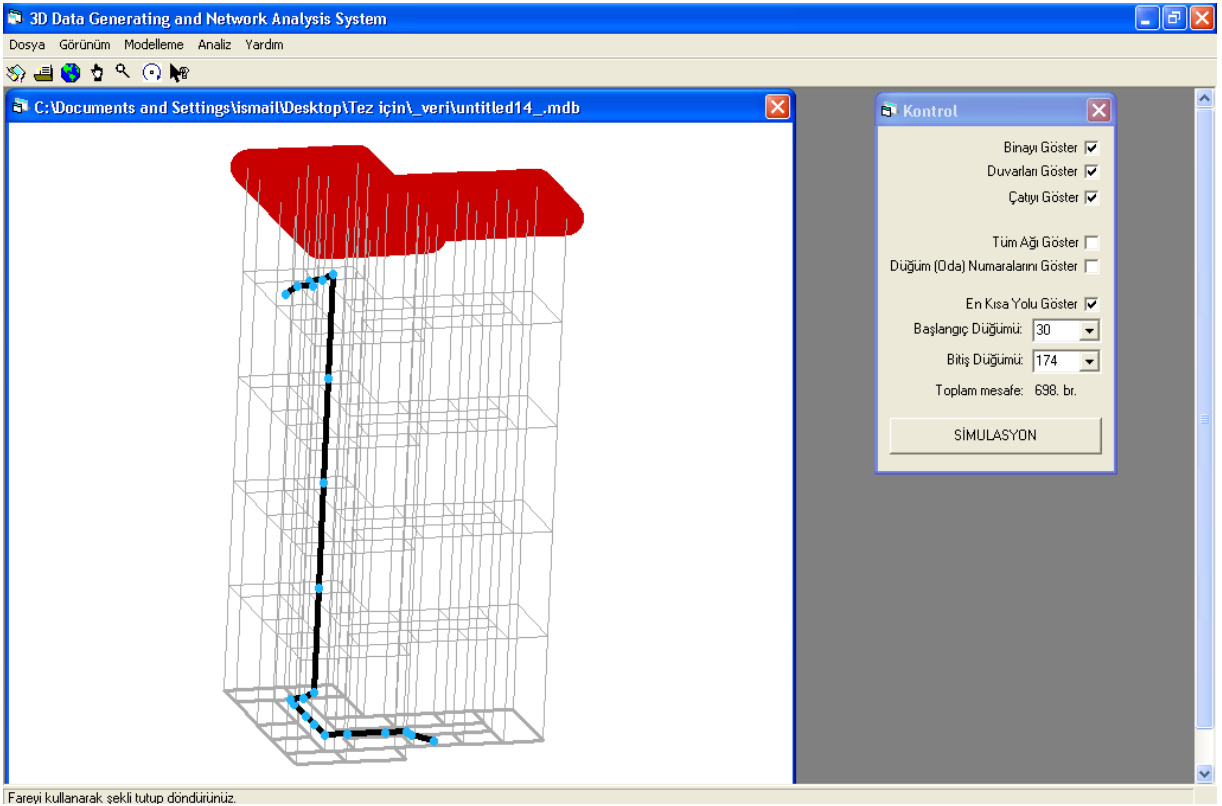
Veri Üretim ve Modelleme Modülü ile elde edilen ve konumsal veri tabanında bir araya getirilen veri altyapısı sayesinde, proje konusu olan bina yada binalar için 3B Ağ Analizlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Ağ Analizi Modülü görüntüleme ve analiz olmak üzere iki farklı fonksiyona sahiptir.

Görüntüleme fonksiyonu Bina ve Ağ Modelinin 3B olarak görselleştirilmesini sağlamaktadır (Şekil 3.41). Bina Modeli duvarlar, katlar ve çatı olmak üzere üç farklı tabakadan oluşmaktadır ve bu tabakaları açıp kapatarak binanın farklı şekillerde görselleştirilmesi mümkün olmaktadır. Benzer şekilde tüm ağı (Şekil 3.44), düğüm numaralarını ve en kısa yolu tabakalar halinde açıp kapatarak Ağ Modeli de görselleştirilebilmektedir. Bunun dışında büyütme, küçültme, döndürme, kaydırma gibi çeşitli fonksiyonlarla her iki modelin de etkin ve verimli bir şekilde görüntülenmesi sağlanmaktadır.

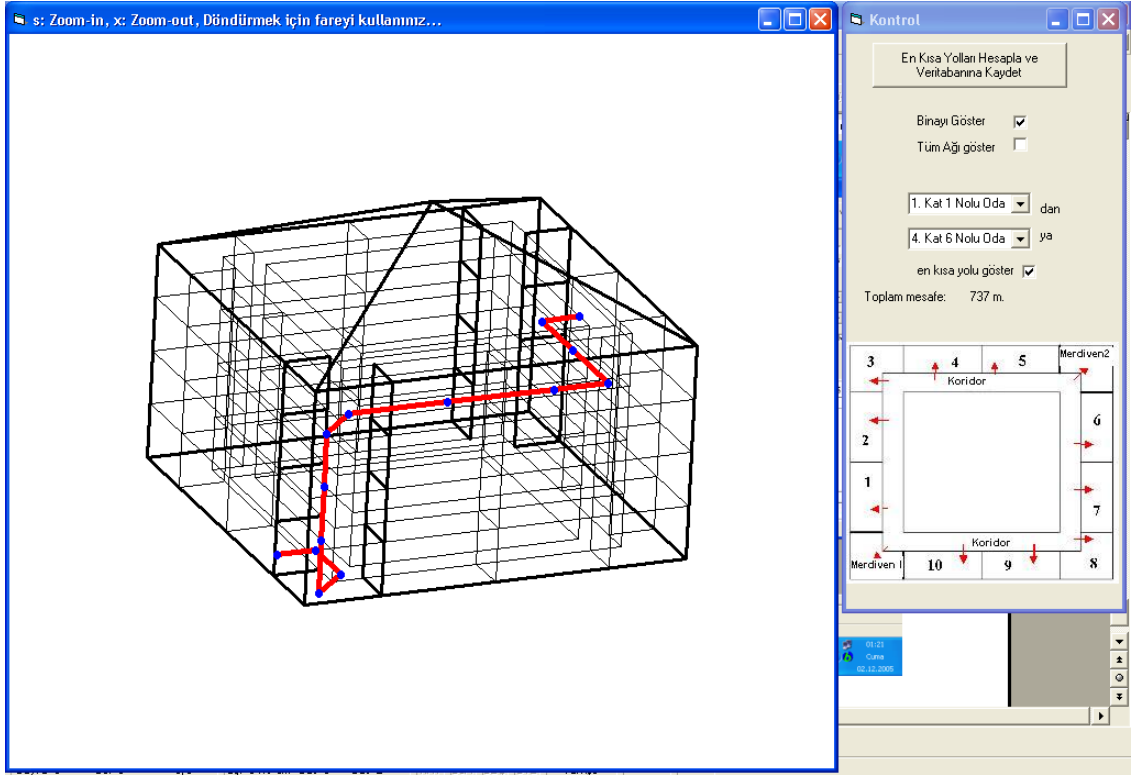
Analiz fonksiyonu ise kullanıcılara iki nokta arasındaki en kısa yolu ve bu yolun uzunluğunu analiz etmelerine imkan sağlamaktadır. Binadaki iki birim seçildiğinde, aralarındaki en kısa yol ve uzaklık kullanıcıya bildirilmektedir. Söz konusu iki birim listedeki numaralarından seçilebildiği gibi, ağ üzerindeki düğümlerine tıklanarak da seçilebilmektedir. Ardından en kısa yol 3B olarak görselleştirilmekte ve analiz edilebilmektedir (Şekil 3.42, 3.43).



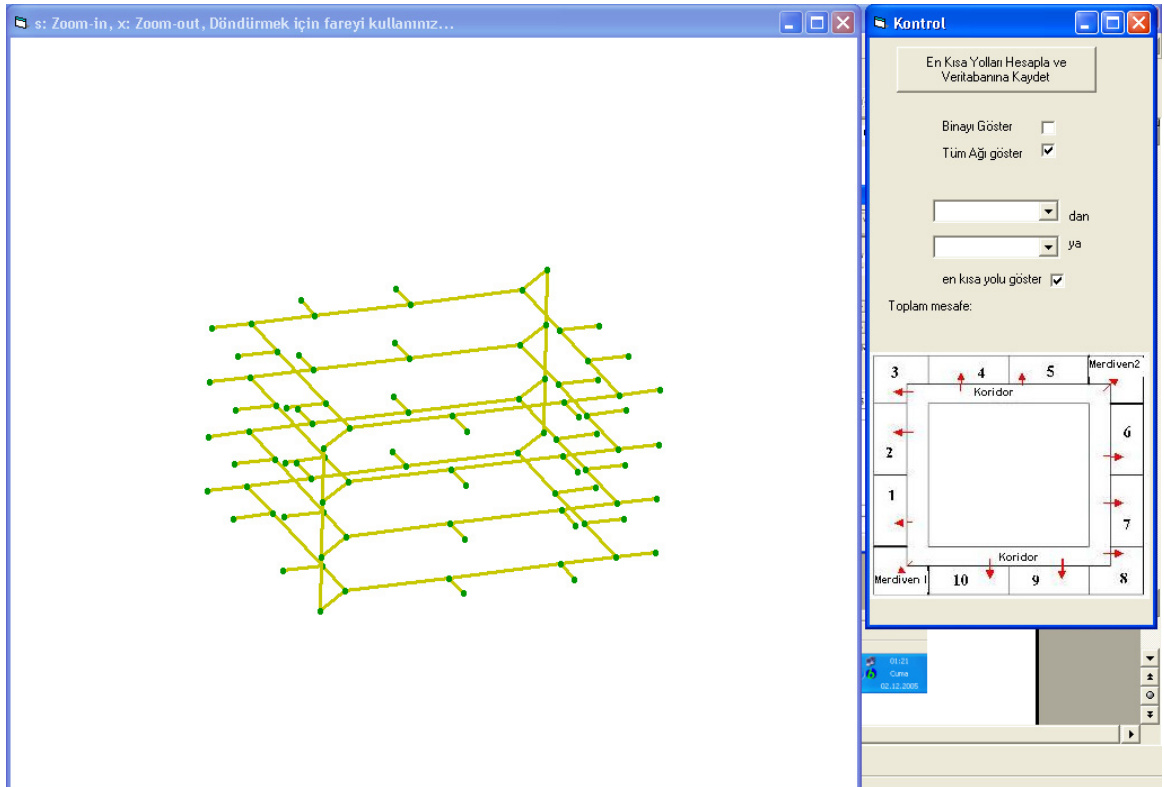
Şekil 3.41 3B Bina ve Ağ Modeli



Şekil 3.42 İki nokta arasındaki en kısa mesafe.



Şekil 3.43 İki nokta arasındaki en kısa mesafe.



Şekil 3.44 3B Ağ Modeli

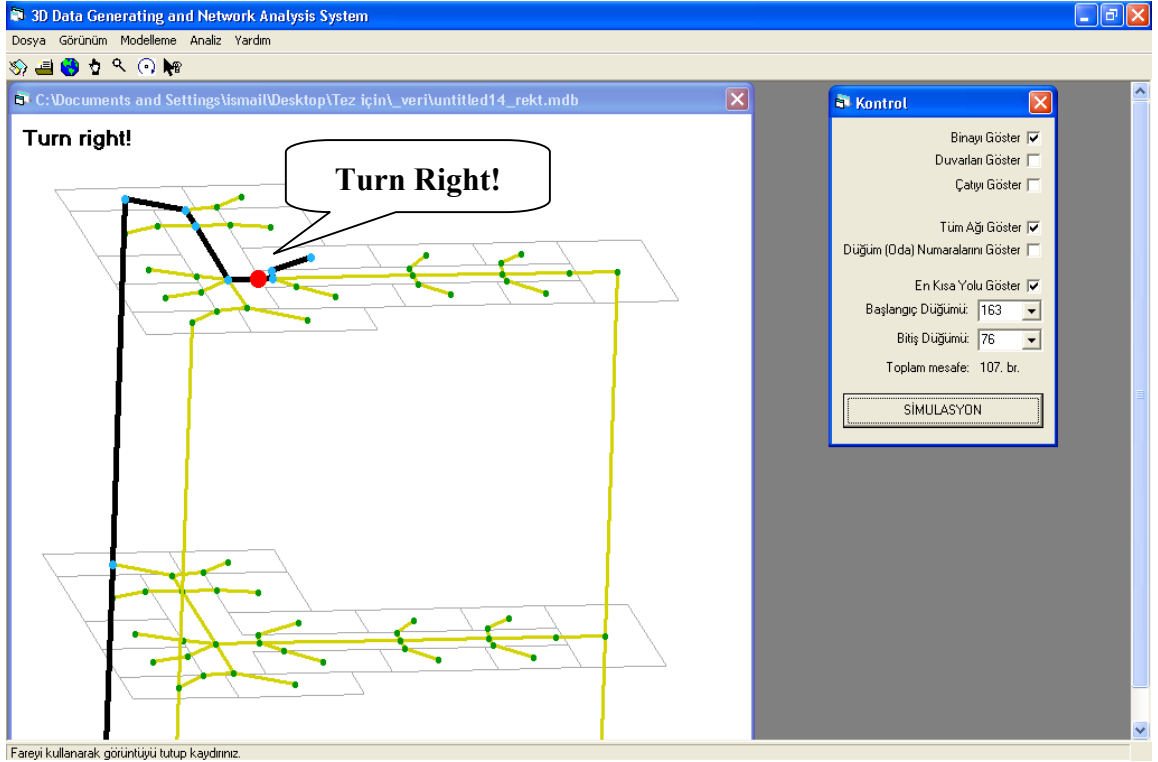
### 3.5 Simülasyon

İdeal bir bina navigasyon sistemi, kişilerin bina içindeki en uygun (en kısa/güvenli yol) güzergahı kullanarak hareket etmelerini sağlayacak akıllı bir sistem olmalıdır. Dolayısı ile böyle bir sistemin, kişiyi sesli ve/veya görüntülü olarak yönlendirmesi sağlanmalıdır.

Tezin bu aşamasında, böyle bir sistemi modellemek üzere bir simülasyon uygulaması geliştirilmiştir. Söz konusu simülasyonda ağ üzerinde ilerleyen kişiyi bir kırmızı nokta temsil etmekte ve sanki gerçekmiş gibi yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Buna göre bilgisayar grafiği algoritmaları kullanılarak görselleştirilmiş bulunan en kısa yol üzerindeki kişinin, konumu belirli periyotlarla gösterilmektedir. İlerleyen kişinin her hangi bir düğüm noktasına gelmeden önce sesli olarak yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.45’de da görüldüğü üzere, kırmızı nokta hareket etmekte olan kişinin konumunu temsil etmektedir. Kırmızı nokta bir dönüm (düğüm) noktasına yaklaştığında bilgisayar sesli olarak gitmesi gereken yönü söylemektedir. Yönergelerin seslendirilmesi aşamasında "Microsoft Speech Object Library" isimli kütüphaneden faydalanılmıştır. Bu kütüphane herhangi bir metni seslendirmeye yarayan bir "Text to Speech" algoritmasıdır.

Geliştirilen simülasyon modülünün en önemli aşamasını gidilecek yönün belirlenmesi oluşturmaktadır. Belirlenen yöne bağlı olarak "Sağa Dön, Sola Dön, Dosdoğru İlerle, Yukarı Çık, Aşağı İn, ve Katta İlerle" talimatlarından biri yukarıda sözü edilen algoritma sayesinde seslendirilmekte ve yönlendirme sağlanmaktadır. Dolayısı ile bu seçeneklerden hangisinin söylenmesinin gerektiğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çalışmada bunun çözümüne yönelik olarak bir yöntem geliştirilmiştir.





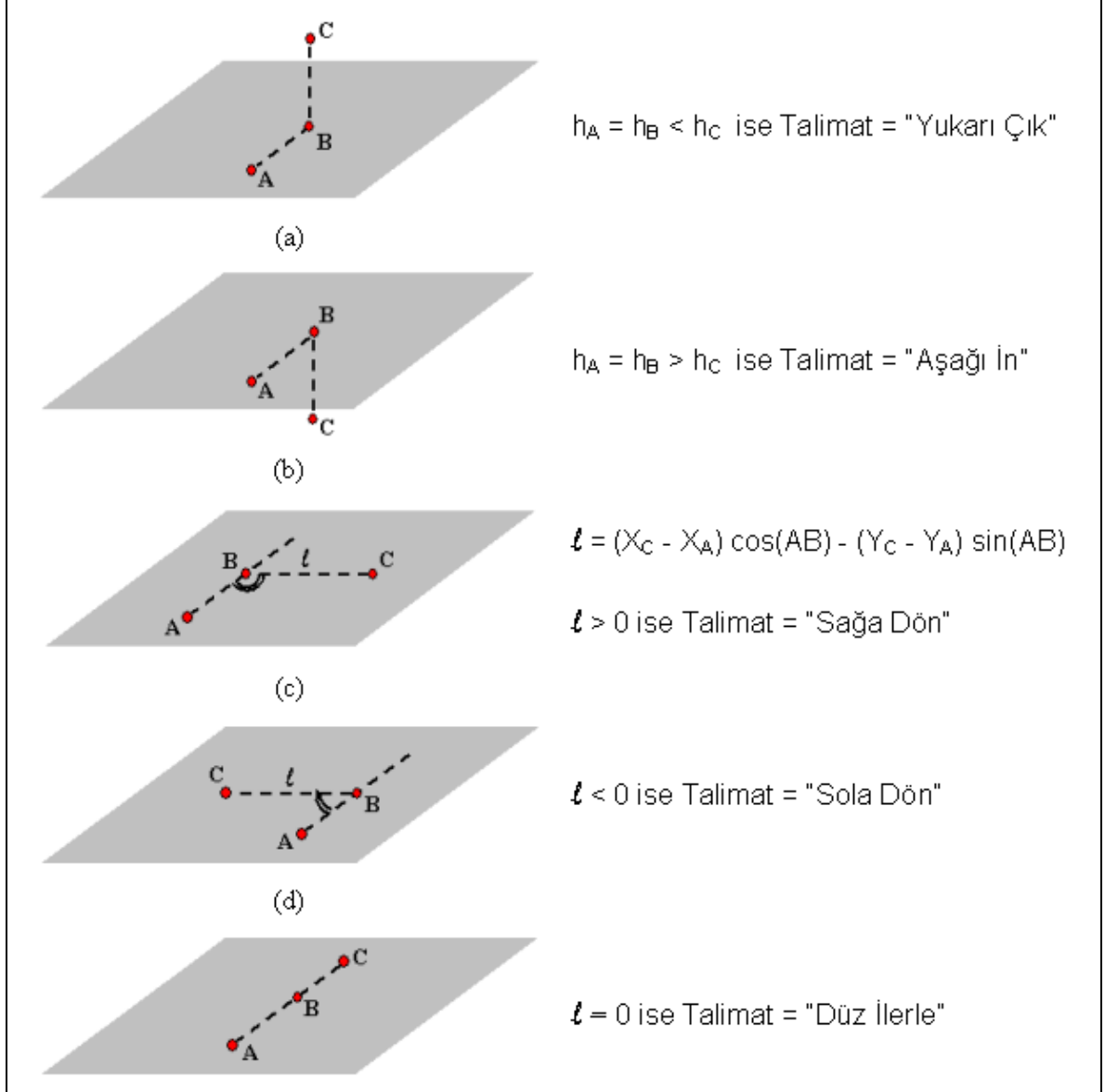
Şekil 3.45 Sesli ve görüntülü simülasyon.

### 3.5.1 Yönlendirme Talimatlarının Belirlenmesi

Kırmızı nokta hatta ilerlerken, bir düğüm noktasına gelmeden önce, o düğüm noktasında hangi yöne gideceği (sağa, sola, yukarı, aşağı, ileri) belirlenmektedir. Bunun için önce bir sonraki düğüm noktası ile, iki sonraki düğüm noktasının yükseklik değerleri karşılaştırılmaktadır. İkincisinin kotu birincisinden fazla ise yukarı dönülmesi gerektiği anlaşılmakta (Şekil 3.46a), dolayısı ile seslendirme yönergesi için “Yukarıya çık” emri atanmaktadır. Tersine, kotu düşük ise bu kez de “Aşağıya in” emri atanmaktadır (Şekil 3.46b). Böylece sıradaki düğüm gelindiğinde söylenecek metin belirlenmiş olmaktadır.

Eğer her iki düğümün de kotu eşitse, aynı katta ilerlenmeye devam edilerek sağa, sola yada düz gidilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu yönün belirlenmesinde ise yan nokta hesabı formüllerinden faydalanılmıştır. Bilindiği gibi yan nokta hesabı işleminde, A noktasından B noktasına doğru giderken, nokta eğer AB doğrusunun, yani hesaplama yönünün sağında ise işareti (+), solunda ise (-) alınmaktadır. Dolayısı ile kişinin bulunduğu düğüm A, bir sonraki düğüm B ve daha sonraki düğüm de C noktası olarak düşünülür ve C düğümünün, AB doğrusuna olan dik boyunun mesafesi ve işareti belirlenirse dönülecek yön bulunulabilir. (+) işaretli çıktığında, B düğümünden sağa (Şekil 3.46c), (-) işaretli çıktığında sola (Şekil 3.46d) dönülmesi gerektiği anlaşılır. Dik boyun mesafesi sıfıra eşit çıktığında ise her üç düğümün de

aynı hat üzerinde olduğu, dolayısı ile ilerlemeye devam etmek gerektiği ortaya çıkar (Şekil 3.46e). Bu yöntem kullanılarak belirlenen yön, seslendirme bileşenine atanmakta ve sıradaki düğüme gelindiğinde “Sağa dön”, “Sola dön” yada “Düz ilerle” metinlerinden uygun olanı belirlenmiş olmaktadır. Bu şekilde belirlenen yöne bağlı olarak elde edilen metin Seslendirme bileşenine gönderilerek simülasyonun çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 3.46 Yönlendirme talimatlarının belirlenmesi

### 3.6 Navigasyon

Bölüm 3.5’de açıklanan simülasyon uygulaması ile, kişinin bina içinde yolculuğu bilgisayar ortamında sanki gerçekmiş gibi modellenmiş ve talimatlara uygun olarak kişinin nasıl yönlendirilebileceği gösterilmiştir. Tez çalışmasının son aşamasında simülasyon uygulaması

ile modellenen senaryonun gerçek hayata uygulanabilirliği üzerinde durulmuş ve bir navigasyon modülü geliştirilmiştir. Navigasyon modülü ile cep telefonu, el bilgisayarı gibi mobil cihazlara sahip olan bir kişinin bina içinde etkileşimli olarak yönlendirilmesi mümkün olmaktadır.

Normal şartlarda, yönlendirme yapabilmek için kişinin bina içindeki konumunun gerçek zamanlı olarak bilinmesi gerekmektedir. Araç navigasyon sistemleri gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan 2B sistemlerde kullanıcının konumu Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ile belirlenmektedir. Bununla birlikte GPS'in kapalı alanlarda doğrudan kullanılması henüz mümkün değildir. Bu yüzden bina içlerinde de çalışabilecek konum belirleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Konuyla ilgili yapılan araştırmalarda çeşitli yöntemler önerilmiş olmasına rağmen, kişinin hangi odada olduğunu kesin bir doğrulukla tespit eden ve ilave donanım gerektirmeyen etkili bir çözüme henüz ulaşamamıştır. İç mekanlara yönelik olarak kullanılan söz konusu konum belirleme teknolojileri ve özellikleri Çizelge 3.3'de gösterilmektedir [11, 12].

Geliştirilen sistem, halihazırda gerçek zamanlı bir konum belirleme ve iletişim sistemi ile entegre edilemediği için, kullanıcı etkileşimli bir konum belirleme yöntemi ile test edilebilmiştir. Bu yöntemde kullanıcı bina içinde ulaştığı her noktayı teyid etmekte ve sistem buna göre yeni direktifleri kendisine göndermektedir. Yönlendirme direktiflerinin iletilmesinde WLAN ve GPRS çözümleri kullanılmıştır.

Sunucu-istemci (server-client) mimarisinde tasarlanan Navigasyon Sisteminin yapısı Şekil 3.41'da görüldüğü gibidir. Sistemin sunucu tarafı dört farklı bileşenden oluşmaktadır. Bunlar ASP (Active Server Pages) sayfaları, veri tabanı, konumsal veri tabanı ve uygulama yazılımıdır. Sistemin çalışabilmesi için navigasyon uygulamasının yapılacağı binaya ait veriler, önceden modellenmiş olmalı ve konumsal veri tabanı da sunucu tarafında yer almalıdır.

Çizelge 3.3 Kapalı alanlara yönelik konum belirleme teknolojileri. [11, 12]

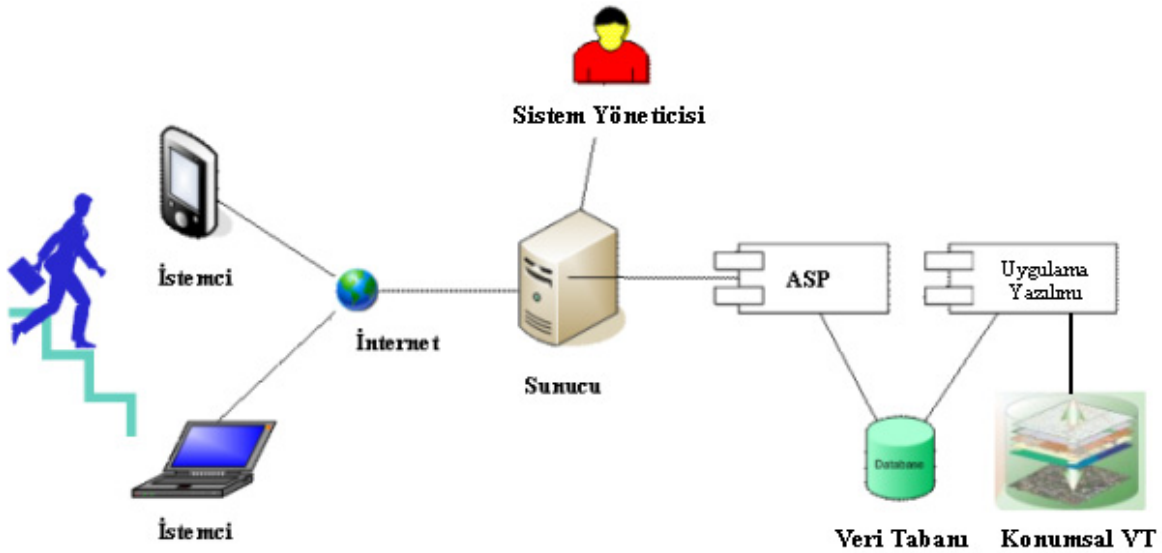
Teknoloji	Avantajları	Dezavantajları	Doğruluk
Ultrasound	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basit ve ucuz ekipman.</li> <li>Hassas ölçüm imkanı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Her odada alıcıların tesis edilmesi gerekliliği.</li> <li>Yüksek yoğunluklu seslerin olumsuz etkisi.</li> <li>Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görme gerekliliği</li> </ul>	Yeterince sık tesis edildiğinde birkaç santimetre
RFID (Radio Frequency Identification)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görmesine gerek yok</li> <li>Her türden ortamda çalışma imkanı.</li> <li>Hızlı etkileşim.</li> <li>Pasif alıcı künyeler aktiflere göre daha ucuz, küçük ve pile ihtiyaç duymuyor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Her odada alıcıların tesis edilmesi gerekliliği.</li> <li>Pasif künyeler, aktiflere göre daha düşük duyarlılık.</li> <li>RFID okuyucular pahalı.</li> </ul>	RFID okuyucu ve künyelerin dağılımına bağlı olarak 1 santimetreden 2. metreye kadar
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> <li>Her türden bluetooth cihazın izlenebilmesi (cep telefonu, mp3 player, laptop)</li> <li>Değişken okuma mesafesi (Genellikle 1 m. civarı)</li> <li>Küçük ölçekli kurulumlar nispeten ucuz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geniş ölçekli kurulumlar maliyetli. Sınırlı band genişliği.</li> <li>Ana bağlantıya karşılık en fazla yedi alt bağlantı imkanı.</li> <li>Aktarmada gecikme.</li> </ul>	2-15 metre
WLAN (Wi-Fi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.11 altyapısını kullanabilme imkanı.</li> <li>Düşük maliyet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Çok katlı ve çok yoğun alanlarda performans düşüklüğü.</li> <li>Sinyal yansıması ve dinamik ağ yapısı sebebiyle değişken sinyal gücü.</li> </ul>	1-3 m. (50 m. menzil içinde)
Pseudo-GPS (Uydusallar)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bina içine GPS uydularına benzer ufak uydusalların kurulması gerekliliği.</li> <li>GPS alıcılı mobil cihazlar.</li> <li>Maliyeti yüksek.</li> </ul>	1 m. civarı
Infrared	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kompakt.</li> <li>Düşük güç tüketimi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gün ışığına karşı duyarlı.</li> <li>Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görme gerekliliği.</li> <li>Tesis ve bakımı maliyetli</li> </ul>	5-10 metre.

Sistemin çalışması şu şekildedir:

1. Bina içindeki gezici kimse (istemci) elindeki mobil cihazı kullanarak WLAN aracılığıyla ilgili sunucudaki ASP sayfasına bağlanır. Sayfadaki formda, bulunduğu ve gitmek istediği yerin konumlarını seçip onaylar ve bu bilgi sunucuya iletilir (Şekil 3.48a).
2. Sunucu tarafında çalışan ASP kodları bu bilgiyi veri tabanına kaydeder.
3. Veri tabanını belirli aralıklarla kontrol eden uygulama yazılımı (Listener Application),

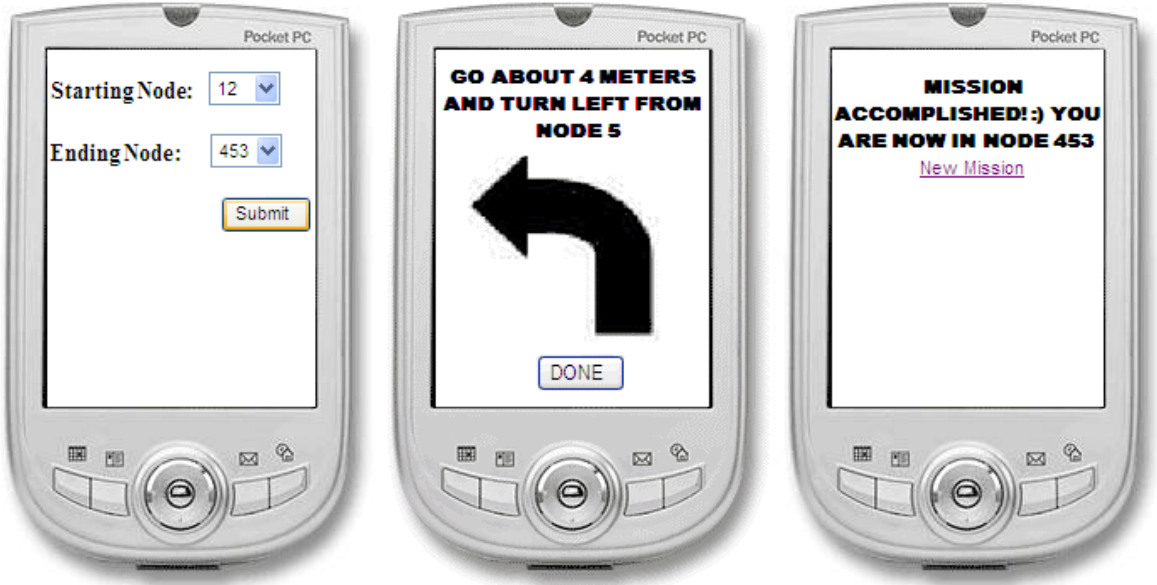
herhangi bir veri girişi olduğunda konumsal veri tabanına bağlanır ve istemci tarafından seçilen noktalar arasındaki en kısa yolu belirler (Şekil 3.47). Ardından Bölüm 3.5.1’de belirtildiği üzere uygun yönlendirme talimatlarını üreterek adım adım veri tabanına kaydeder.

4. Veri tabanındaki değişiklik ASP sayfalarını tetikler ve gideceği yöne ait yön, mesafe ve resim (yön okları) bilgisini içeren ilk talimat istemciye geri döndürülür (Şekil 3.48b). İstemcinin gelen talimatı uygulamasının ve onaylamasının ardından sunucu-istemci etkileşimi tekrarlanır ve bu kez ikinci talimat gönderilir. Yerine getirilen her aşamanın ardından işlem tekrarlanır ve istemcinin bu şekilde hedefe ulaşması sağlanır (Şekil 3.48c).



Şekil 3.47 Navigasyon modülünün sistem mimarisi

Söz konusu navigasyon uygulaması kompleks binalardan oluşan Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız kampüsündeki iki blokta test edilmiştir (Şekil 3.49). Önce binaların mimari planları temin edilerek (Şekil 3.50) kat planları düzenlenmiş (Şekil 3.51), ardından Veri Üretim ve Modelleme Modülü kullanılarak 3B Bina ve Ağ Modelleri üretilmiştir (Şekil 3.52). İlgili yazılım, konumsal veri tabanı ve dosyalar sunucu olarak tasarlanan sabit IP'ye sahip bir bilgisayara yüklenmiş, böylece navigasyon sisteminin tüm bileşenleri bir araya getirilerek test ortamı hazırlanmıştır. Ardından navigasyon sistemi PDA olarak bilinen mobil bir el bilgisayarı kullanılarak bina içindeki farklı noktalar arasında test edilmiştir. Test sonucunda sistemin bina içindeki iki nokta arasındaki en kısa yolda sistemin kişiyi başarılı ve sorunsuz bir şekilde yönlendirdiği görülmüştür.



(a)

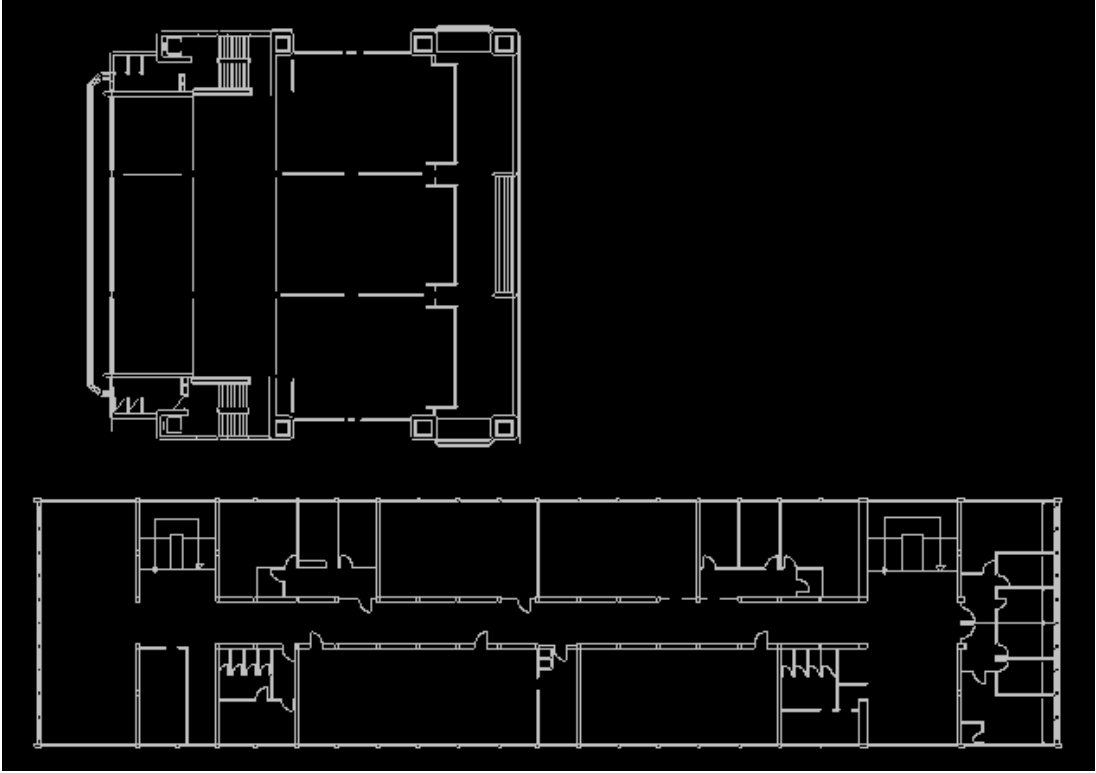
(b)

(c)

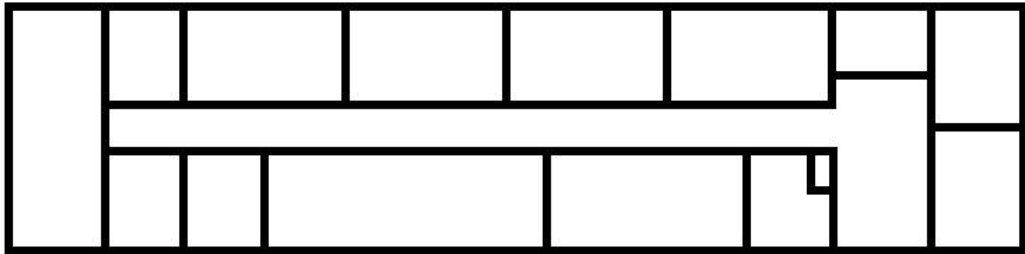
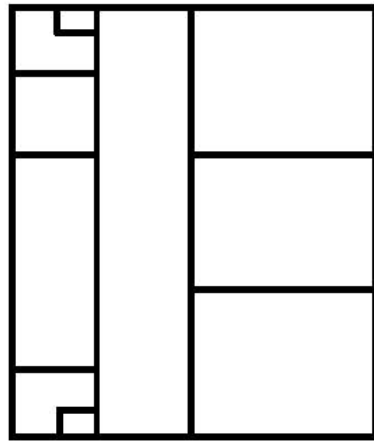
Şekil 3.48 Mobil cihazlarla kişi navigasyonun sağlanması



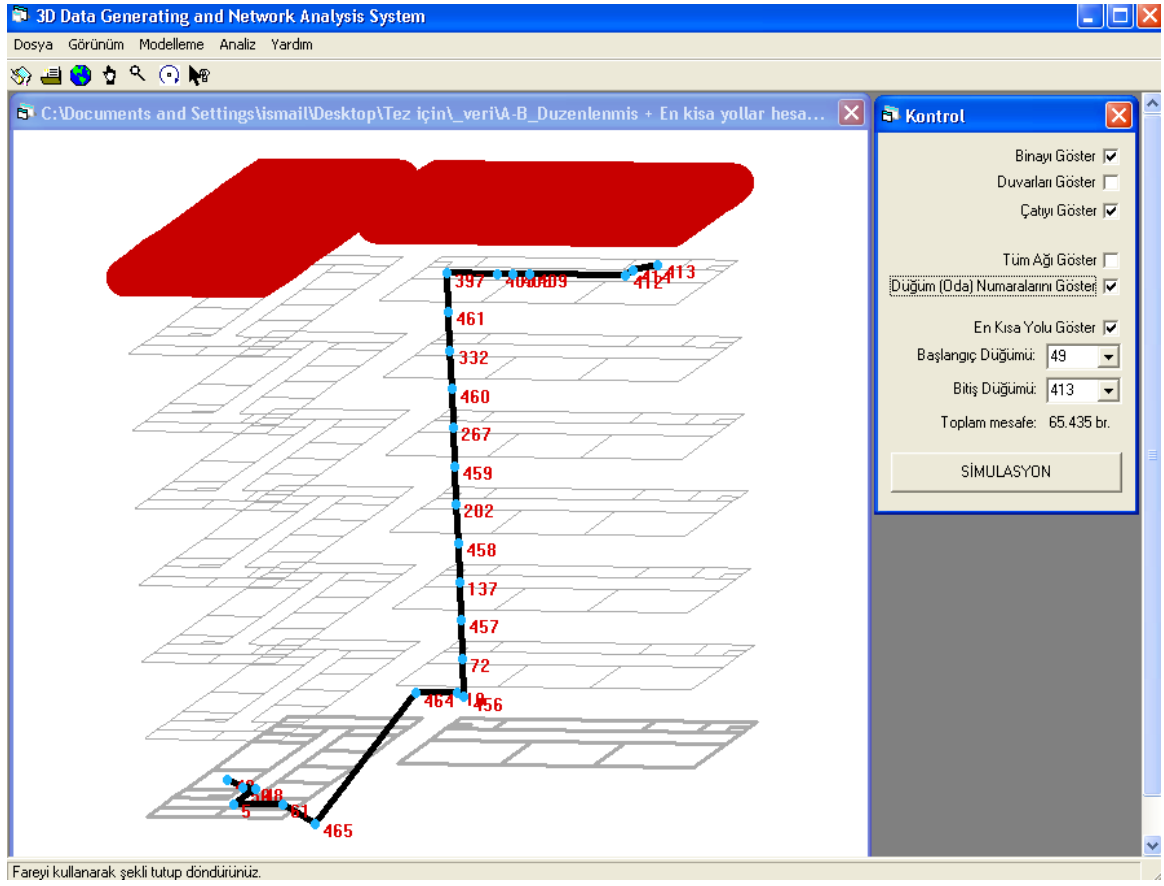
Şekil 3.49 Navigasyon sisteminin test edilmesi



Şekil 3.50 YTÜ A ve B blokların mimari kat planı



Şekil 3.51 YTÜ A ve B bloklarının modellemeye uygunlaştırılmış kat planları.



Şekil 3.52 YTÜ A ve B bloklar için 3B Bina ve Ağ Modeli da gerçekleştirilen navigasyon uygulaması



#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

CBS; kapsadığı topolojik ilişkiler sayesinde, koordinatları ile belirli somut ve soyut objelerin analiz edilmesini, işlenerek yeni veri ve bilgilerin üretilmesini sağlayan ve çeşitli yönetim aşamalarında kullanılabilen bilgi sistemleridir.

Günümüzün modern şehirlerindeki problemlerinin çözümünde 2B sistemler yetersiz kalmakta ve bir çok alanda 3B CBS uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Görselleştirme anlamında oldukça etkileyici 3B uygulamalara erişilmiş olsa da, bir takım analizleri üçüncü boyutu da hesaba katarak gerçekleştirmek, günümüzde teknolojik olarak henüz tamamlanamamıştır. Hem teori, hem de uygulama açısından bir çok alanda çözülmeyi bekleyen altyapı sorunları mevcuttur. Bu alanlardan birisi de çok katlı ve karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binalardaki (gökdelenler, iş merkezleri, plazalar, hastaneler vb.) 3B Ağ Analizleridir. Özellikle 11 Eylül saldırılarının ardından, acil durumlara yönelik bina tahliye ve müdahale sistemleri, bina içi güvenlik ve hizmetlerin karşılanması gibi 3B analizleri konu alan uygulamalar büyük önem kazanmış ve bu yöndeki araştırmalar daha da artmıştır.

Bu tez çalışmasında, başlıca konumsal objelerden olan ve üçüncü boyutunun da hesaba katılması gereken binaların, iç mekânlarına yönelik olarak kavramsal bir model tasarlanması ve bu modele uygun olarak, ağ analizleri anlamında konumsal analizlerin etkin bir şekilde yapılabileceği bir 3B CBS uygulaması geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amacı gerçekleştirmek için öncelikle 3B ağ uygulamalarının matematiksel ve model altyapısı üzerinde çalışılmış, ardından analiz tabanlı ve fonksiyonel bir 3B CBS prototipi geliştirilmiştir. Farklı bir çok teknolojiyi de kullanarak, Visual Basic 6.0 platformunda geliştirilen ve özgün bir yazılım olarak ortaya konulan söz konusu prototip, otomatik veri üretimi, ağ analizi, simülasyon, navigasyon olmak üzere dört farklı bileşenden oluşmaktadır.

3B ağ analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayacak olan veri altyapısının, hızlı bir şekilde elde edilmesine yönelik olarak yeni yöntem ve modellerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğu, literatürdeki kaynaklarda sıkça dikkat çekilen bir husustur. Nitekim, Abdul-Rahman (2007) ve Pu ve Zlatanova (2005) 3B modelleri otomatik olarak elde etmenin zorluklarından bahsetmiş, veri elde etmede manuel yöntemlerin hakimiyetinin hala büyük ölçüde devam etmekte olduğunu belirtmişlerdir.

Tez çalışması kapsamında bu yönde bir katkı yapılması hedeflenmiş, 3B modellerin hızlı bir şekilde oluşturulması ve ağ analizlerinin yapılabilmesine imkan sağlayacak şekilde verilerin

üretmesini sağlayan MUSCLE (Multidirectional Scanning for Line Extraction – Çok Yönlü Tarama ile Çizgilerin Elde Edilmesi) Model adı verilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Söz konusu yöntem, kat planından üç boyutlu Bina ve Ağ modellerinin hızlı, etkin ve otomatik bir şekilde elde edilmesini sağlamakla birlikte, esasen raster verilerin vektörizasyonu gibi daha geniş ölçekteki uygulamalarda da kullanılabilir bir sayısal görüntü işleme algoritmasıdır. MUSCLE Model ile klasik yöntemlerden farklı olarak geliştirilen vektörizasyon algoritması sayesinde, çizgi izleme-zincir kodlama ve vektör azaltma işlemlerine gerek kalmadan, sadece komşuluk analizi ile çizgileri elde etmek mümkün olmaktadır. Model kullanılarak yapılan testler sonucunda, özellikle doğrusal çizgilerden oluşan görüntülerde oldukça başarılı sonuçlara ulaşılmış, benzerlerine göre belirli üstünlükler sağladığı görülmüştür.

Tez kapsamında geliştirilen Ağ Analizi modülü, görüntüleme ve analiz olmak üzere iki farklı fonksiyona sahiptir ve kullanıcıların iki nokta arasındaki en kısa yolu analiz etmelerine ve görselleştirmelerine imkan sağlamaktadır. Söz konusu uygulama ile 3B mekanlarda ihtiyaç duyulan en önemli konumsal analizlerden biri olan ağ analizinin etkin bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

İdeal bir bina navigasyon sistemi, kişilerin bina içindeki en uygun (en kısa/güvenli yol) güzergahı kullanarak hareket etmelerini sağlayacak akıllı bir sistem olmalıdır. Navigasyon aşamasının ilk adımı olmak üzere geliştirilen simülasyon uygulaması ile kişilerin bina içindeki hareketleri bilgisayar ortamında modellenmekte, sesli ve görüntülü olarak sanki gerçekmiş gibi yönlendirilmeleri sağlanmaktadır. Bina ortamındaki gerçek uygulamanın belli bir ölçek dahilinde bu şekilde küçültülmesiyle, yönetici veya uzmanlar tarafından model analizlerinin rahatlıkla yapılabilmesine dikkat çekilmiştir.

Bölüm 1.2’de de belirtildiği üzere acil durumlara yönelik olarak Amerika ve AB ülkelerindeki mobil servis sağlayıcılara bazı yükümlülükler getirilmiş, iç mekanlardaki konum bilgisini hassas bir şekilde elde etmeyi gerektiren uygulamalar öne çıkmaya başlamıştır. Ayrıca son yıllarda Konuma Bağlı Hizmetlerin gittikçe daha da fazla ağırlık kazandığı gözlenmektedir. İnsanlar artık 2B navigasyon cihazlarının verdiği bilgiden çok daha fazlasını istemeye başlamışlar, “Çevredeki pizza restoranları nerededir ve fiyatları nedir?” gibi konuma bağlı sorularına cevap arar olmuşlardır. Bu tür talepler taşıtlara bağımlı araç takip sistemlerinin yerine, cep telefonu gibi mobil cihazların kullanımını gündeme getirmiştir. Dolayısı ile, açık yada kapalı her türlü mekanda konum bilgisini verebilecek çözümlerin geliştirilmesini tetikleyen bir başka etken de bu süreçtir. Rekabet ortamının da etkisiyle mobil servis sağlayıcıların önümüzdeki yıllarda Konuma Bağlı Hizmetler üzerine daha fazla yoğunlaşacağı

tahmin edilmektedir.

Buradan hareketle geliştirilen navigasyon sisteminde, kullanıcı etkileşimli bir konum belirleme yöntemi kullanılmış ve iç mekanlardaki kişilerin sorunsuz bir şekilde hedeflerine ulaşabilecekleri ortaya konulmuştur. Kapalı alanlara yönelik gerçek zamanlı konum belirleme sistemleri üzerine yapılan araştırmalar sürmekle birlikte, henüz istenen düzeyde sonuçlar elde edilememektedir. Kişinin hangi odada olduğunu kesin bir doğrulukla tespit eden ve ilave donanım gerektirmeyen bu türden sistemlerin gelişiminin ardından, tez kapsamında tasarlanan navigasyon sistemi gerçek zamanlı olarak çok daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Acil durum yönetimi, bina içi navigasyon, adres bulma, güvenlik ve hizmetlerin organizasyonu gibi konuma bağlı her türden hizmetin verilmesi söz konusu sistemin kullanım alanları olarak kendini göstermektedir.

Çalışmanın matematiksel altyapısını oluşturması açısından, tez kapsamında üzerinde durulan bir diğer konu da “Topoloji” kavramıdır. Konuyla ilgili kaynaklar incelendiğinde CBS'nin geometrik temellerinde en önemli yapıyı oluşturmasına rağmen, topolojik veri yapıları üzerinde yeterince durulmadığı ve genelde üstünkörü geçildiği görülmüştür. Bununla birlikte Türkçe'ye çevrilen bazı kavramların da gelişigüzel kullanıldığı bu yüzden kavram kargaşasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıdan topoloji konusuna geniş bir şekilde yer ayrılmış, matematiksel temelleri açıklanmış ve CBS açısından önemi ortaya konulmuştur. Hatalı kullanımı dikkat çeken bazı kelimeler, sözlük anlamı, terim anlamı ve farklı yazarların kullanım tercihleri bakımından incelenmiş ve kavram kargaşasını gidermek amacıyla Türkçe karşılıklarına yönelik öneriler getirilmiştir.

Tez kapsamında ağ uygulamalarına yönelik olarak otomatik veri üretimi, analiz, simülasyon ve navigasyon bileşenlerinden oluşan 3B bir sistem prototipi tasarlanmıştır. Bununla birlikte konu ile ilgili uygulama alanlarının kapsamı oldukça geniş ve sistemin daha da geliştirilmesi mümkündür. Bu kapsamda tez sonrasına yönelik olarak getirilebilecek önerilerden bazıları şu şekildedir;

- Geliştirilen sistem mevcut haliyle, kat planı verisinden 3B Bina ve Ağ modellerini otomatik olarak üretebilmektedir. Bununla birlikte her katının planı birbirinin aynı olmayan binaların yapılandırılmasına yönelik olarak, manuel düzenleme araçlarının da sisteme eklenmesi düşünülebilir.
- Geniş ölçekli modellerin üretimine yönelik olarak, bir çok binanın bir arada olduğu 2B sistemlerle bütünleşik tasarımlar için, benzer düzenleme araçlarının geliştirilmesi de

bir başka çalışma konusu olarak göze çarpmaktadır.

- Dağıtım güzergahı ve etki alanının belirlenmesi gibi farklı ağ analizi uygulamalarının geliştirilen 3B sisteme uyarlanması da tez sonrası çalışma konularındandır.
- Yaygın olarak kullanılan CBS yazılımlarıyla entegrasyon, veri paylaşımı ve birlikte işlerlik süreçlerinin gerçekleştirilmesi de planlanan çalışmalardandır.
- Hassas bir şekilde kişi konumunu veren navigasyon sistemlerinin geliştirilmesi, üzerinde çalışılabilecek bir başka konudur. Elektromanyetik dalgaların yada telsiz sinyallerinin seyahat sürelerine bağlı olarak, mesafe bilgisinin elde edilebildiği bilinmektedir. Binanın üç yada dört farklı noktasına kurulacak sinyal yayıcılar vasıtası ile üzerinde yansıtıcı bir cihaz taşıyan kişinin bina içindeki konumunu belirlemek mümkün olabilir. Sinyal yayıcılarla kişi arasındaki mesafeler hassas bir şekilde belirlenebildiği takdirde kestirme hesabı yapılarak üç boyutlu koordinatlarına ulaşılabilir. Söz konusu çalışma ancak farklı disiplinlerle yapılacak işbirlikleri yoluyla gerçekleştirilebilecek bir uygulamadır.

**KAYNAKLAR**

- Abdul-Rahman, A., (2000), The design and implementation of two and three-dimensional triangular irregular network (TIN) based GIS, PhD thesis, University of Glasgow, Scotland, United Kingdom, 250 p.
- Abdul-Rahman, A., Pilouk, M. ve Zlatanova, S., (2001), "The 3D GIS software development: global efforts from researchers and vendors", *Geoinformation Science Journal*, Vol. 1, No. 2
- Abdul-Rahman, A., (2006a), "GIS - 3D and beyond", *Map Malaysia*, 3-4 May 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Abdul-Rahman, A., (2006b), Closing Speech, International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06), 7-8 Aug. 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Abdul-Rahman, A., (2007), "3D GIS: Current Status and Perspectives", *Seminer*, Nisan 2007, YTU, İstanbul.
- Achille, C., ve Fassi, F., (2006), 3D Multi Scale Modelling of the Interior of the Real Villa of Monza (Italy), International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06), 7-8 August 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Aranoff, S., (1993), *Geographic Information Systems, A management Perspective*, Canada, 294 s.
- Arens, C., Stoter, J., Oosterom, P., (2005), "Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive", *Computers & Geosciences* 31, 165–177
- AGI GIS Dictionary, (1991), Association for Geographic Information Standarts Commitee Publication, London, England
- Bank, E., (1997), "Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Topoloji", *Harita dergisi*, Sayı 118.
- Bildirici, İ.Ö., (2003), "Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Ağ Topolojisi Ve Genelleştirme", 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 31 Mart-4 Nisan, Ankara.
- Billen, R. ve Zlatanova, S., (2003), "3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre?", *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol. 27 (2003) pp. 411-425
- Bonham-Carter, G. F., (1996), "Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS", *Computer Methods in the Geosciences*, Vol. 13, Pergamon Publications, 398 p.
- Brisson, E., (1990), Representation of d-dimensional geometric objects, PhD thesis, University of Washington, USA
- Burrough, P. A., (1998), *Principles of Geographic Information Systems for Land Recources Assessment*, Oxford University Press, 2. Ed.,
- Cambray, B., (1993), "Three-dimensional (3D) modelling in a geographical database", *Proceedings of 11th. International Symposium on Computer-Assisted Cartography (AutoCarto 11)*, ASPRS/ACSM, Bethesda, Maryland, pp. 338-347
- Carlson, E., (1987), "Three dimensional conceptual modelling of subsurface structures", *Technical Papers of ASPRS/ACSM Annual Convention, Baltimore*, Vol. 4 (Cartography), pp. 188-200

- Chou, Y.H., (1997) Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems. OnWord Press, Santa Fe, USA.
- Coors, V. ve V. Jung, (1998), "Using VRML as an Interface to the 3D data warehouse", Proceedings of VRML'98, New York
- Çölkesen, R., (2002), "Veri Yapıları ve Algoritmalar", Papatya Yayınevi, İstanbul.
- De La Losa, (1998), "Toward a 3D GIS: Conception of a 3D GIS with a complete topological Management", Proceedings of GIS PlaNET'98 Conference, Lisbon
- Doğru, Ö., (2004), Araç Navigasyon Haritalarının Tasarımında Kavşak Yapılarının Modellenmesi İçin Çoklu Gösterimler, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dijkstra, E. W., (1959), "A note on two problems in connexion with graphs", Numerische Mathematik, 1, 269-271.
- Egenhofer, M. J. ve J. R Herring, (1992), Categorising topological relations between regions, lines and points in Geographic databases, The 9-intersections: formalism and its use for natural language spatial predicates, Technical report 94-1, NCGIA, University of California.
- Erden, T. Coşkun, M.Z., İpbüker, C. (2003); "CBS'de Ağ Analizi ve Ulaşım Problemleri", Harita Dergisi, Sayı:129, s.17-32.
- ESRI, (1996), Using The ArcView Network Analyst GIS, Environmental Systems Research Institute Inc., Redlans.
- Fritsch, D. and Schmidt, D., (1995), "The object-oriented DTM in GIS", Proceeding of Photogrammetric Week, Stuttgart, pp. 29-34
- Förstner, W., (1995), "GIS - the third dimension", Workshop on Current Status and Challenges of Geoinformation Systems, IUSM working group on LIS/GIS, University of Hannover, 25-28 Eylül, Germany, pp. 65-72
- Galea, E. R., Owen, M. ve Gwynne, S., (1999), Principles and practice of evacuation modeling second edition, CMS Press.
- Gillieron, P., Merminod, B., (2003), "Personal navigation system for indoor applications", 11th IAIN World Congress
- Gilliéron, P. Y., Büchel, D., Spassov, I., ve Merminod, B., (2004), "Indoor Navigation Performance Analysis", ENC GNSS 2004 – Rotterdam
- Güngör, V., (1999), Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Ağ Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürpınar, B., Alp, R., Yakın, Y., (2005), "Grafler", Veri Yapıları ve Algoritmalar Dersi Semineri, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
- Hacısalıhoğlu, H., (1998), Dönüşümler ve Geometrilere, Ertem Matb., 328 s.
- Haist, J., Reitz, T. ve Coors, V., (2006), "A web 3D Service for Navigation Applications", International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06), 7-8 August 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Hori, O., Tanigawa, S. (1993), "Raster-to-vector Conversion by Line Fitting Based on

- Contours and Skeletons”, Proc., Int'l Conf. Document Analysis and Recognition, Tsukuba (Japan), 353-358.
- Jennings, C. (1993), Computer Vision for Line Drawings, M.Sc. Thesis, University of Calgary.
- Jones, C. B., (1989), “Data structures for three-dimensional spatial information systems in Geology”, Int. Journal of Geographic Information System (IJGIS), Vol. 3, No. 1, pp. 15-31
- Kada, M., Haala, N. ve Backer, S., (2006), “Improving The Realism Of Existing 3D City Models”, International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06), 7-8 August 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Kaemarungsi, K., (2005), Design of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting Technique, PhD Thesis.
- Karagülle, H., Karakuzu, R., ve Varol, K., (2001), "Endüstriye Yönelik Bilgisayar Destekli Tasarım Eğitimi", Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Makina Mühendisleri Odası Konya Şubesi, 2-3 Kasım, Konya.
- Karaş, İ. R., Baz, İ., Kavzoglu, T., (2003), "Konumsal Veri Değişimi ve Çevirici Geliştirme", 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Karaş, İ. R., Batuk F., (2005), "Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Topoloji Kavramı", 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Karaş, İ. R., Batuk F., (2006), "Akıllı Binalarda Tahliye Güzergahının Üç Boyutlu Ağ Analizleri ile Belirlenmesi”, Yapı ve Kentte Bilişim '06 IV. Kongresi, 08-09 Haziran, Ankara.
- Karaş, İ. R., Batuk F., Akay, A. E., Baz, İ., (2006), “Automatically Extracting 3D Models and Network Analysis for Indoors”, Pages: 395 - 404, Innovations in 3D Geoinformation Science, Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Editors: A. Abdul-Rahman, S. Zlatanova, V. Coors, Published by Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Karaş, İ. R., Batuk F., (2007) “An Evacuation System For Extraordinary Indoor Air Pollution Circumstances”, 14th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, 10-14 October, Sevilla, Spain.
- Korte, B.K., (1997) The GIS Book, 4.th Ed. OnWord Press, Santa Fe, USA.
- Kraak, M. J., (1998), “The cartographic visualization process: from presentation to exploration”, Cartographic Journal 35, 1, pp 11-16.
- Kraus, K., (1995), “From digital elevation model to topographic information system”, 45th. Photogrammetric Week, D. Fritsch and D. Hubbie (eds.), Stuttgart, pp. 277-285
- Küçükçifçi, S., Sural, H., Nesin, A., (2003), "Kapak Konusu: Çizgeler", Matematik Dünyası, Sayı: 2003/3, Sayfa: 9-46
- Kwan, M. P. ve Lee J., (2005), “Emergency response after 9/11: the potential of realtime 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments, Computers, Environment and Urban Systems, 29, pp 93-113.
- Lee, J., (2001), “3D Data Model for Representing Topological Relations of Urban Features’ ”, Proceedings of the 21st Annual ESRI International User Conference, San Diego, CA, USA
- Lo, C.P. ve Yeung, A.K.W., (2002), Concepts and Techniques of Geographic Information

Systems, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Maguire, D. J., (1992), An Overview and Definition of GIS, in maguire D. J., Goodchild M, Rhind d (eds.), GIS Principles and Applications, Vol.1, Longman, London

McGeough, J., (2003), "Wireless Location Positioning Based on Signal Propagation Data", Marcus Evans Wireless Location Positioning Conference, 22 Jan, San Francisco.

Meijers M., Zlatanova S. ve Preifer N., (2005), "3D geoinformation indoors: structuring for evacuation", Proceedings of Next generation 3D city models, 21-22 June, Bonn, Germany, 6 p.

Miao, L., Liu, X., Peng, Q., Bao, H. (2002), "BRDC: binary representation of displacement code for line", Computers & Graphics, 26, 401-408.

Molenaar, M., (1998), An Introduction to the theory of spatial objects modelling, Taylor&Francis, London

Molenaar, M ., (1992), "A topology for 3D vector maps", ITC Journal 1, pp. 25-33

Muslim, I. A., Abdul-Rahman, A. Ve Coors, V., (2006), "3D Navigation for 3D GIS – Initial Requirements", International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06), 7-8 August 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.

Pekinken, P. ve Rainio, A., (2002), Market Analysis of Mobile Map Services, GiMoDig Scientific Report.

Pfund, M., (2001), "Topologic data structure for a 3D GIS", Proceedings of 3rd International Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS (Inter. Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.34, Part 2W2), 23-25 May, Bangkok, Thailand, pp.233-237.

Pigot, S., (1995), A topological model for a 3-dimensional Spatial Information System, PhD thesis, University of Tasmania, Australia

Pilouk, M., (1996), Integrated modelling for 3D GIS. PhD thesis, ITC, The Netherlands, 200 p.

Project Report, (2007), "Terrestrial and Satellite Systems for Emergency Situations: State of the Art", EU FP6 Project Name: WISECOM: Wireless Infrastructure over Satellite for Emergency Communications.

Pu, S., (2004), "Database Storage of 3D Freeform Curves and Surfaces", MSc Thesis, Delft Univ, Netherlands, Dec 24, 2004.

Pu, S. ve Zlatanova, S., (2005), Evacuation route calculation of inner buildings, in: van Oosterom, Zlatanova & Fendel (Eds.), Geo-information for disaster management, Springer Verlag, Heidelberg, pp. 1143-1161

Pullar, D.V. ve M.J. Egenhofer, (1988), "Toward formal definition of topological relations among spatial objects", Proceedings of the Third International symposium on SDH, Sydney, Australia, pp. 225-241

Raper, J. ve Kelk, B., (1991), Three-dimensional GIS. In: Geographical information systems: principles and applications, D. J. Maguire, M. Goodchild and D. W. Rhind (eds.), Longman Geoinformation, pp. 299-317



- Raper, J. F., McCarthy, T. ve Unwin, D., (1998), "Multi dimensional Virtual Reality Geographic Information System, (VRGIS): Research Guidelines", Proceedings GISRUUK 98, Edinburgh, UK, 6 p.
- Rongxing, L., (1994), "Data structures and application issues in 3-D geographic information Systems", *Geomatica*, Vol. 48, No. 3, pp. 209-224
- Soğukpınar, İ, (2006), "Ayrık Matematik Ders Notları", Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
- Stoter, J.E., Nieuwburg, E. ve deVries, M.E., (2003a), paper submitted to ACM-GIS conference, New Orleans, USA, November 7-8, 2003.
- Stoter, J. ve Zlatanova, S., (2003), "3D GIS where are we standing?", Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis, 2-3 Ekim, Quebec city, Canada, 6p.
- Stoter, J. E., ve Ploeger, H. D., (2003), "Registration of 3D objects crossing parcel boundaries", FIG Working week 2003, 13-17 April, Paris, France.
- Stringfield, W. H., (1996), *Emergency planning and management*, Rockville: Government Institutes
- Sural, H., (2003), "Gezgin Satıcı Problemi", *Matematik Dünyası*, Sayı:2003/3, Sayfa:37-40
- Şeker, D., Z., (2001), CBS Ders Notları, Bl. 3, İstanbul.
- Tao, V., (2007), "Opportunities and Challenges in Mobile Mapping for On-line Services and Consumer Applications: A Perspective from Microsoft Virtual Earth Microsoft Visual Earth", 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT'07), Padua, Italy, 28-31 May 2007.
- Theobald, D. M., (2001), "Understanding Topology and Shapefiles", *ArcUser Journal*, June 2001
- Timpf, S., Volta, G.S., Pollock, D.W. ve Egenhofer, M.J., (1992), A Conceptual Model of Wayfinding Using Multiple Levels of Abstractions. In *Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space*, edited by Frank, A.U., Campari, I., and Formentini, U. 639. Heidelberg-Berlin: Springer Verlag, pp. 348- 367.
- Tüdeş T., Bıyık C., (1994), *Kadastro Bilgisi*, KTÜ Basımevi
- Ulugtekin, N., Dogru, A. O. and Thomson, R., (2004), "Modelling Urban Road Networks Integrating Multiple Representations of Complex Road and Junction Structures", *Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics*, pp. 757-764 Gavle, Sweden.
- Wenyin, L., Dori, D. (1999), *From Raster to Vectors: Extracting Visual Information from Line Drawings*, *Pattern Analysis and Applications*, 2(2), 10-21.
- West D., (1996), *Introduction to Graph Theory*, Prentice Hall.
- Worboys, M., (1995), *GIS: a computing perspective*. Taylor & Francis publication, 376 p.
- Yaşayan, A., (2001), CBS Proje Yönetimi Ders Notları (basılmamış).
- Yıldırım, V., Yomralıoğlu, T., (2002), "Adres Tabanlı Bilgi Sistemi Tasarımı ve Ağ Analizleri Uygulamaları", VIII.ESRI ve ERDAS Kullanıcıları Toplantısı, Ankara.

Yıldırım, V., (2003), “Adres Bilgi Sistemi ve Uygulaması: Trabzon Kent Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimler Enstitüsü Jeodezi ve Fot. Müh., s.1-107, Trabzon.

Yomralıoğlu, T., (2000), Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar, 486 s., Birinci Baskı, İstanbul.

Zlatanova, S., (2000), 3D GIS for urban development. PhD thesis, ITC, The Netherlands, 222 p.

Zlatanova, S. ve Holweg, D., (2004), “3D Geo-information in emergency response: a framework”, Proceedings of the Fourth International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT'2004), March 29-31, Kunming, China 6 p.

## **İNTERNET KAYNAKLARI**

[1]<http://www.polisiye.com/devam.asp?yazid=276>

[2][www.cclub.metu.edu.tr/~olimp/konular/cizge/esra\\_basit\\_grafik\\_algoritmaları.doc](http://www.cclub.metu.edu.tr/~olimp/konular/cizge/esra_basit_grafik_algoritmaları.doc)

[3]<http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst/about/who-uses.html>

[5]<http://www.csre.iitb.ac.in/gram++/gramnet.htm>

[6]<http://www.co.dakota.mn.us/PublicWeb/Templates/PrintFriendly.aspx>

[7][www.caliper.com/UK/transcad.htm](http://www.caliper.com/UK/transcad.htm)

[8]<http://www.tsp.gatech.edu/sweden/index.html>

[9]<http://www.terrainmodels.com/caves.html>

[10]<http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro01/Class/exercises/georas.html>

[11][www.csd.uwo.ca/~nplemieu/readingCourse/IndoorLocationReadingCourse.html](http://www.csd.uwo.ca/~nplemieu/readingCourse/IndoorLocationReadingCourse.html)

[12]<http://giswww1.bcit.ca/georanger/find-indoor-loc.htm>

## EKLER

### Yazılım Kaynak Kodu Örnekleri

#### Public Sub optimizasyon\_kesisimler()

```

upt = 0
frmThreshold.ProgressBar1.Min = 0
frmThreshold.ProgressBar1.Max = opt

For gl = 1 To opt - 1 Step 2
  If yopt(gl) = yopt(gl + 1) Then yopt(gl) = yopt(gl) + 0.001
  mgl = ((xopt(gl) - xopt(gl + 1)) / (yopt(gl) - yopt(gl + 1)))
  ngl = ((yopt(gl) * xopt(gl + 1) - xopt(gl) * yopt(gl + 1)) / (yopt(gl) - yopt(gl + 1)))

  For lm = gl To opt - 1 Step 2
    If gl <> lm Then
      If yopt(lm) = yopt(lm + 1) Then yopt(lm) = yopt(lm) + 0.001
      mlm = ((xopt(lm) - xopt(lm + 1)) / (yopt(lm) - yopt(lm + 1)))
      nlm = ((yopt(lm) * xopt(lm + 1) - xopt(lm) * yopt(lm + 1)) / (yopt(lm) - yopt(lm + 1)))

      If mgl = mlm Then mlm = mlm + 0.0001
      kesy = (nlm - ngl) / (mgl - mlm)
      kesx = (((nlm - ngl) / (mgl - mlm)) * mgl) + ngl

      sgl = Sqr((xopt(gl) - xopt(gl + 1)) ^ 2 + (yopt(gl) - yopt(gl + 1)) ^ 2)
      sgl1 = Sqr((xopt(gl) - kesx) ^ 2 + (yopt(gl) - kesy) ^ 2)
      sgl2 = Sqr((xopt(gl + 1) - kesx) ^ 2 + (yopt(gl + 1) - kesy) ^ 2)

      slm = Sqr((xopt(lm) - xopt(lm + 1)) ^ 2 + (yopt(lm) - yopt(lm + 1)) ^ 2)
      slm1 = Sqr((xopt(lm) - kesx) ^ 2 + (yopt(lm) - kesy) ^ 2)
      slm2 = Sqr((xopt(lm + 1) - kesx) ^ 2 + (yopt(lm + 1) - kesy) ^ 2)

      If sgl1 <> sgl And sgl2 <> sgl Then
        If slm1 <> slm And slm2 <> slm Then
          If Abs((sgl1 + sgl2) - sgl) < 0.1 And Abs((slm1 + slm2) - slm) < 0.1 Then
            If Combo7 = "Topoloji Modelle (odalar)" Then

              For t = 1 To opt
                If Abs(ykor(t) - kesy) < 0.1 And Abs(xkor(t) - kesx) < 0.1 Then
                  kkrt = 1
                End If
              Next t

              If kkrt = 0 Then
                upt = upt + 1
                xoda(upt) = kesx
                yoda(upt) = kesy
                Form1.Picture1.Circle (kesy, boy - kesx), 3
              End If
              kkrt = 0 'kkrt tekrar resetleniyor

            Else
              If slm < sgl Then
                xopt(lm) = 0.01
                yopt(lm) = 0.01
                xopt(lm + 1) = 0.01
                yopt(lm + 1) = 0.01
            End If
          End If
        End If
      End If
    End If
  End For
End For

```

```

        End If
        If slm > sgl Then
            xopt(gl) = 0.01
            yopt(gl) = 0.01
            xopt(gl + 1) = 0.01
            yopt(gl + 1) = 0.01
        End If
    End If
End If
End If
End If
Next lm
frmThreshold.ProgressBar1.Value = gl
Next gl

kdu = 0
For ksz = 1 To opt
    If yopt(ksz) > 0.1 Then
        kdu = kdu + 1
        xoptgecici(kdu) = xopt(ksz)
        yoptgecici(kdu) = yopt(ksz)
    End If
Next ksz

For ry = 1 To kdu
    xopt(ry) = xoptgecici(ry)
    yopt(ry) = yoptgecici(ry)
Next ry
opt = kdu
If Check2.Value = 1 Then
    For ks = 1 To opt - 1 Step 2
        If yopt(ks) <> 0.01 Then
            Print #5, "LINE"
            Print #5, " 8"
            Print #5, "3_KesisimlerOK"
            Print #5, " 10"
            Print #5, Replace(Str(yopt(ks)), ",", ".")
            Print #5, " 20"
            Print #5, Replace(Str(xopt(ks)), ",", ".")
            Print #5, " 30"
            Print #5, " 0.00"
            Print #5, " 11"
            Print #5, Replace(Str(yopt(ks + 1)), ",", ".")
            Print #5, " 21"
            Print #5, Replace(Str(xopt(ks + 1)), ",", ".")
            Print #5, " 31"
            Print #5, " 0.00"
            Print #5, " 0"
        End If
    Next ks
End If
End Sub

```

**Private Sub Form\_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)**

```

If neyap = "buyut" Then
xx = xxx(syc + 1)
yy = yyy(syc + 1)
  If Button = 1 Then:
    For i = 1 To syc + 1
      Call kaydir(xxx(i), yyy(i), -(X - (xorta)), -(Y - (yorta)))
      Call kaydir(xxx(i), yyy(i), -xx, -yy)
      Call zoom(xxx(i), yyy(i), z(i), 1.2)
      Call kaydir(xxx(i), yyy(i), xx, yy)
    Next i
    For i = 1 To syac 'ag da aynı şekilde:
      Call kaydir(Xnet(i), Ynet(i), -(X - (xorta)), -(Y - (yorta)))
      Call kaydir(Xnet(i), Ynet(i), -xx, -yy)
      Call zoom(Xnet(i), Ynet(i), Znet(i), 1.2)
      Call kaydir(Xnet(i), Ynet(i), xx, yy)
    Next i
  End If
  If Button = 2 Then:
    For i = 1 To syc + 1
      Call kaydir(xxx(i), yyy(i), -(X - (xorta)), -(Y - (yorta)))
      Call kaydir(xxx(i), yyy(i), -xx, -yy)
      Call zoom(xxx(i), yyy(i), z(i), 0.8)
      Call kaydir(xxx(i), yyy(i), xx, yy)
    Next i
    For i = 1 To syac
      Call kaydir(Xnet(i), Ynet(i), -(X - (xorta)), -(Y - (yorta)))
      Call kaydir(Xnet(i), Ynet(i), -xx, -yy)
      Call zoom(Xnet(i), Ynet(i), Znet(i), 0.8)
      Call kaydir(Xnet(i), Ynet(i), xx, yy)
    Next i
  End If
Call ciz
ElseIf neyap = "analiz" Then
  For d = 1 To syac
    If -7 < (Int(Xnet(d)) - Int(X)) And (Int(Xnet(d)) - Int(X)) < 7 Then
      If -7 < (Int(Ynet(d)) - Int(Y)) And (Int(Ynet(d)) - Int(Y)) < 7 Then
        If yu = 0 Then
          Form2.Combo2.Text = d
          Form2.Combo1.Text = ""
          MDIForm1.StatusBar1.Panels(1).Text = "İkinci noktaya tıklayınız."
          yu = 1
        Else
          Form2.Combo1.Text = d
          yu = 0
          MDIForm1.StatusBar1.Panels(1).Text = "Birinci noktaya tıklayınız."
        End If
        Call ciz
        If yu = 1 Then
          DrawWidth = 7
          PSet (Xnet(d), Ynet(d)), RGB(255, 0, 0)
        End If
      End If
    Next d
  End If
End If
mx = X:my = Y
cx = X:cy = Y

```

**End Sub**

**Public Sub simulate()**

```

For hy = 1 To oi - 1
  Call yon_belirle(hy)
  artis = (Xnet(Path(hy + 1)) - Xnet(Path(hy))) / 3
  For xara = Xnet(Path(hy)) + artis To Xnet(Path(hy)) + 3 * artis Step artis
    yara = (((xara - Xnet(Path(hy))) * (Ynet(Path(hy)) - Ynet(Path(hy + 1)))) / (Xnet(Path(hy)) -
Xnet(Path(hy + 1)))) + Ynet(Path(hy))
    DrawWidth = 15
    PSet (xara, yara), RGB(255, 0, 0)
    Wait 1
    DoEvents
    Call ciz
  Next xara
  If hy = oi - 1 Then
    speech.Speak "Mission accomplished!"
    FontSize = 15
    FontBold = True
    CurrentX = (enkucukx - 300) + 10
    CurrentY = (enbuyuky + 300) - 10
    Print "Mission accomplished!"

  Else 'degilsen
    speech.Speak soyle
    FontSize = 15
    FontBold = True
    CurrentX = (enkucukx - 300) + 10 '-270
    CurrentY = (enbuyuky + 300) - 10 '600
    Print soyle

  End If
Next hy
soyle = ""

```

**End Sub**

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	1973	
Doğum yeri	Karabük	
Temel Eğitim	1984	T.E.D. Karabük Koleji
Lise	1990	Safranbolu Lisesi
Lisans	1997	Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Doktora	2007	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı, CBS ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı

**Çalıştığı kurumlar**

2001-	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Araştırma Görevlisi
1999-2001	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Araştırma Görevlisi