

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞALGAZ İLETİM HATLARININ BELİRLENMESİ İÇİN COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMLERİ İLE RASTER TABANLI DİNAMİK BİR MODELİN
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Harita Yük. Müh. Volkan YILDIRIM

**TEMMUZ 2009
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞALGAZ İLETİM HATLARININ BELİRLENMESİ İÇİN COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMLERİ İLE RASTER TABANLI DİNAMİK BİR MODELİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Harita Yük. Müh. Volkan YILDIRIM

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor (Harita Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.06.2009
Tezin Savunma Tarihi : 03.07.2009**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Cemal BIYIK

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Osman DEMİR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ergin TARI

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Gerçekleştirmiş olduğum doktora çalışmasının danışmanlığını üstlenen, bilgi ve deneyimleri ile çalışmalarımı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesinde görev alarak çalışmalarına katkı sağlayan Prof. Dr. Cemal BIYIK ve Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT'e teşekkür ederim.

Çalışmamın farklı aşamalarında etkin bilgilerine başvurduğum kıymetli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Bayram UZUN, Yrd. Doç. Dr. Recep NİŞANCI ve Yrd. Doç. Dr. Selçuk REİS'e kalpten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen değerli GISLab çalışanları Arş. Gör. Halil İbrahim İNAN, Arş. Gör. A. Çağdaş AYDINOĞLU ve Arş. Gör. H. Ebru ÇOLAK arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde birlikte zaman geçirdiğim tüm hocalarıma ve diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇETE, Yrd. Doç. Dr. Ali YALÇIN ve Bilgisayar Müh. Özkan BİNGÖL'e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerini paylaşan ve değerli zamanlarını ayıran BOTAŞ Genel Müdürlüğünde görevli bütün personele ayrıca Trabzon İrtibat Bürosu Amiri Hrt. Müh. Süleyman ÜSTÜNSALİH'e şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca özellikle arayüz geliştirme sürecinde desteklerini esirgemeyen İşlem Firması çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, tez çalışmam boyunca üzüntü ve sevinçlerimi paylaşan, sürekli fedakârlık gösteren ve bu sebeple de övgülerin en büyüğünü hak eden eşime ve oğluma en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Volkan YILDIRIM
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	7
1.3. Çalışmanın Amacı	12
1.4. Metodoloji	12
1.5. Temel Tanım ve Kavramlar	13
1.5.1. Güzergâh Planlama	13
1.5.2. Güzergâh Optimizasyonu	17
1.5.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Veri Modelleri	18
1.5.4. Ağ Analizleri	20
1.5.5. Güzergâh Planlamada Raster Ağ Analizleri	22
1.5.5.1. Raster Ağ Analizi Yöntemi	22
1.5.5.2. Raster Ağ Analizi Uygulamaları	24
1.5.6. Çizgisel Mühendislik Yapıları	28
1.5.6.1. Petrol Boru Hatları	29
1.5.6.2. Doğal Gaz Boru Hatları	28
1.5.6.3. Su Altı Boru Hatları	31
1.6. Güzergâh Planlamada Kullanılan Yöntemler	32
1.6.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi	32

1.6.2.	Analitik Hiyerarşi Yöntemi	33
1.7.	Dünyada Güzergâh Planlama	35
1.8.	Türkiye’de Güzergâh Planlama	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	46
2.1.	Raster Tabanlı Güzergâh Belirleme Algoritmaları ve Karşılaştırılması...	46
2.1.1.	Algoritmaların İrdelenmesi	50
2.1.2.	CBS Uyumlu Raster Ağ Analizi Algoritmalarının Belirlenmesi	51
2.1.3.	ArcGIS Maliyetli Mesafe (CostDistance) Algoritması	52
2.2.	Raster CBS Tabanlı Güzergâh Planlama Modelinin Geliştirilmesi	55
2.2.1.	Model Gereksinimi ve İhtiyaç Analizleri	55
2.2.2.	Güzergâh Tespitinde Konumsal Veri	56
2.2.3.	Model Tasarımı	59
2.2.3.1.	Kavramsal Modelin Oluşturulması	59
2.2.3.2.	Veritabanı Tasarımı Yapılması	61
2.2.4.	DĞİH Güzergâhına Etki Eden Faktörler.....	61
2.2.4.1.	Arazi Örtüsü	64
2.2.4.2.	Eğim	65
2.2.4.3.	Jeoloji / Litoloji.....	65
2.2.4.4.	Heyelan	66
2.2.4.5.	Toprak	66
2.2.4.6.	Diğer Çizgisel Mühendislik Yapıları	67
2.2.4.7.	Akarsu	68
2.2.4.8.	Flora / Fauna	69
2.2.4.9.	Deprem / Fay	69
2.2.4.10.	Havza ve Su Kaynakları	70
2.2.4.11.	Rekreasyon ve Koruma Alanları	70
2.2.4.12.	Yerleşim Alanları	71
2.2.5.	Faktör Ağırlıklarının AHY ile Belirlenmesi	72
2.2.5.1.	DĞİH Güzergâh Planlaması İçin Hiyerarşinin Kurulması	75
2.2.5.2.	AHY ile Önceliklerin Belirlenmesi	76
2.2.5.3.	İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Faktör Ağırlıklarının Hesaplanması	77
2.2.6.	Piksel Tabanlı Maliyet Katmanının Oluşturulması	86

2.2.6.1.	Piksel Boyutunun Belirlenmesi	88
2.2.6.2.	Raster Veri Formatına Dönüşüm	89
2.2.6.3.	Alt Kriterlerin Zorluk Derecelendirmesi	89
2.2.6.4.	Piksel Tabanlı Ağırlıklandırılmış Maliyet Yüzeyinin Oluşturulması.....	90
2.2.6.5.	Sonuç Güzergâhın Belirlenmesi	91
2.2.7.	Güzergâh Planlama	91
2.2.8.	Maliyet Hesaplama	92
2.3.	Arayüz Tasarımı ve Yazılım Geliştirme	92
2.3.1.	ArcGIS 9.2 Yazılımı	92
2.3.2.	Arayüz İhtiyaçları ve Modüller	93
2.3.3.	ArcObjects Teknolojisi	93
2.3.4.	ESRI Developer Network (EDN) Platformu	94
2.3.5.	Yazılım Geliştirme Araçları ve C#	94
2.3.6.	Güzergâh Planlama Modelinin Arayüze Uyarlanması	95
2.4.	Gerçekleştirme	103
2.4.1.	Çalışma Alanının Belirlenmesi	105
2.4.2.	Yazılım ve Donanım Seçimi	107
2.4.3.	Veri Sözlüğünün Hazırlanması	107
2.4.4.	Projeksiyon Sistemi ve Dönüşümler	108
2.4.5.	Konumsal Veri/Bilgi Toplama ve İşleme	109
2.4.6.	Veri Katmanlarının Oluşturulması	109
2.4.7.	Vektör – Raster Veri Dönüşümleri	111
2.4.8.	Raster Verilerin Sınıflandırılması	111
2.4.9.	Ağırlıklı Maliyet Yüzeyinin Oluşturulması	112
2.4.10.	En Uygun Güzergâhın Seçimi	113
2.5.	Uygulama: Türkiye İçin Sürdürülebilir DĞİH Güzergâh Planlaması	116
2.5.1.	Veri Katmanlarının Oluşturulması	117
2.5.2.	Veri İşleme ve Projeksiyon Sisteminin Belirlenmesi	117
2.5.3.	Maliyet Yüzeyi Haritasının Oluşturulması	119
2.5.4.	Örnek 1: Nabucco DĞİH Güzergâhının Belirlenmesi	122
2.5.5.	Örnek 2: Mısır – Türkiye DĞİH Güzergâhının Belirlenmesi	124
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	126

3.1.	Model Performansının Değerlendirilmesi	126
3.1.1.	Çevresel En Uygun Güzergâh	126
3.1.2.	Sosyolojik En Uygun Güzergâh	127
3.1.3.	Ekonomik En Uygun Güzergâh	128
3.2.	Modelin Ekonomik Maliyet Etkinliğinin Değerlendirilmesi	129
3.3.	Güzergâh Optimizasyonu	130
3.3.1.	Hiyerarşik Yapı	132
3.3.2.	Güzergâh Bilgileri ve Faktör Ağırlıkları	134
3.3.3.	Güzergâhların Değerlendirilmesi	135
3.4.	Nabucco DGBH Güzergâhının İrdelenmesi	137
3.5	Mısır – Türkiye DGBH Güzergâhının İrdelenmesi	141
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	143
5.	KAYNAKLAR	148
6.	EKLER	160
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Güzergâh belirleme işlemi, birçok değişkenin aynı anda analiz edilmesini gerektiren karmaşık bir süreçtir ve bütün Çizgisel Mühendislik Yapısı (ÇMY) projeleri için önemli işlem adımlarından biridir. Bu süreç projenin başlangıcından bitişine kadar geçen sürede proje ile ilgili yapım, bakım, onarım vb. bütün faaliyetleri etkilemektedir. ÇMY'lerin optimum şekilde tesis edilebilmesi, güzergâhın en uygun şekilde belirlenebilmesine bağlıdır. Bunun için öncelikle ÇMY güzergâhına etki eden faktörlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Her bir faktörün güzergâha etki derecesi bir ağırlık katsayısı olarak belirlenmeli ve bunlar bir bütün içinde değerlendirilip analiz edilmelidir. ÇMY'lerin uzunlukları ve güzergâh tespitine etki eden faktörler dikkate alındığında yoğun bir konumsal veri setinin yönetilmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bu tür yoğun veri kitlelerinin analiz edilerek, sonuçların hızlı ve doğru bir şekilde alınabilmesi etkili bir konumsal karar destek sistemi olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri ile mümkün olabilmektedir

Bu çalışmada birçok çizgisel mühendislik yapısına uyarlanabilecek raster tabanlı dinamik bir güzergâh belirleme modeli geliştirilmiştir. Bu modelin uygulaması ise sadece Doğal Gaz İletim Hatları (DGİH) için gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda DGİH güzergâhlarına etki eden faktörler tespit edilmiş ve bu faktörlerin ağırlıkları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu faktörlere ait alt kriterler için de AHY yöntemi uygulanarak yüzey geçiş zorluğu derecelendirmesi yapılmıştır. Bu ağırlık değerleri dikkate alınarak DGİH için raster tabanlı güzergâh belirleme modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelin gereksinimleri doğrultusunda ArcGIS 9.2 yazılımı üzerinden bir arayüz geliştirilmiştir. Bu arayüzde kullanıcı mevcut verilerine göre dinamik olarak faktör seçimi yapabilmekte ve önceden belirlenmiş faktör ağırlıklarını da isteğe bağlı olarak değiştirerek farklı amaçlara uygun olarak alternatif güzergâhlar belirleyebilmektedir. Model öncelikle mevcut Trabzon DGİH optimizasyonu sürecinde kullanılmış ve bu süreçte de performans, hız ve doğruluk gibi kriterler açısından test edilmiştir. Ayrıca oluşturulan bu model üzerinden Türkiye'de DGİH güzergâhı tespiti için, raster tabanlı bir maliyet yüzeyi haritası oluşturulmuştur. Bu yüzey üzerinden örnek iki adet doğalgaz iletim hattı için güzergâh önerisi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğalgaz, Boru Hattı, İletim Hattı, Coğrafi Bilgi Sistemleri, CBS, Güzergâh, Raster Veri Modeli, AHY

SUMMARY

Development of a Raster Based Dynamic Model with Geographical Information System for the Determination of Natural Gas Transmission Pipelines

Route determination is a complex process in which many variables are to be simultaneously analyzed and is one of the important steps for all Linear Engineering Structures (LES) projects. This process affects all other processes required from the beginning and during the life time of the project such as construction, maintenance, repairs etc. Establishment of LES in an optimal way is dependant on the determination of related route optimally. For this, factors effecting LES route should initially be determined. The degree of effect to route for each factor should be determined as a weighted coefficient and these should be interpreted and analyzed all together. When lengths of LES and factors effecting the route determination process considered, the need for managing a large spatial data set emerges. Analysis of such large data sets and population of quick and accurate outcomes may be possible with Geographical Information System (GIS) technologies, which is an effective decision support system.

In this study, a dynamic raster based route determination model which may be customized for the majority of LES was developed. Application of this model was only carried out for Natural Gas Transmission Pipelines (NGTP). For this purpose, the factors effecting routes of NGTP were determined and weights of these factors were designated with using Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of Multi Criteria Decision Support (MCDS) methods. By applying AHP method also for sub criteria for these factors, surface friction grading was calculated. By considering these weight values, raster based route determination model was developed. In accordance with the requirements of this model, an interface based on ArcGIS9.2 development environment was developed. In this interface, the user can do factor selection dynamically based on current integral data in the interface and can determine alternative routes for different purposes by optionally changing pre-determined factor weights. The model was first applied for the process of the optimization of current Trabzon NGTP, and, in this process, it was tested in view of some criteria such as its performance, speed and accuracy etc. In addition, a raster based cost surface map was produced using this model. Route proposals were done for two samples of NGTP by using this surface map.

Key Words: Natural Gas, Pipeline, Transmission Line, Geographical Information System, GIS, Route, Raster Data Model, AHP

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Güzergâh seçimi sürecindeki temel hususlar.....	14
Şekil 1.2. Tanımsız yüzey üzerinde güzergâh bulma.....	15
Şekil 1.3. Koridor analizi	16
Şekil 1.4. DGİH güzergâh optimizasyonu bileşenleri	18
Şekil 1.5. Seyrek ve yoğun yapısında güzergâh gösterimi	21
Şekil 1.6. Raster ağ analizlerinde maliyet katmanının oluşturulması	22
Şekil 1.7. Maliyet yüzeyi üzerinden güzergâh tespiti	23
Şekil 1.8. Kesin ve göreceli engeller	24
Şekil 1.9. Yol güzergâhının belirlenmesinde algoritmaların etkinliği	26
Şekil 1.10. Çizgisel mühendislik yapıları	28
Şekil 1.11. Doğalgaz İletim Hattı	30
Şekil 1.12. Petrol boru hatlarının sınıflandırması	30
Şekil 1.13. Off-shor boru hatları	31
Şekil 1.14. Konumsal karar destek analizi kavramsal modeli	33
Şekil 1.15. Basit bir AHY modeli	34
Şekil 1.16. Kıtalararası DGİH için önerilen bir güzergâh belirleme modeli	36
Şekil 1.17. Bakü Tiflis Ceyhan PBH	39
Şekil 1.18. BTC petrol boru hattının güzergâh belirleme süreci	39
Şekil 1.19. BTC boru hattında Putka Gölü ekolojisi için güzergâh değişikliği	41
Şekil 1.20. Türkiye’deki mevcut petrol ve doğalgaz iletim hatları	44
Şekil 1.21. Yapılması hedeflenen petrol ve doğal gaz boru hatları	45
Şekil 2.1. Raster piksellerden çizgi özelliklere geçiş	48
Şekil 2.2. Dik bir dağın zirvesine doğru giden yola ait optimum güzergâh	49
Şekil 2.3. Berry algoritmasına göre optimum güzergâh işlemi.....	49
Şekil 2.4. “Steeped accumulation surface” yöntemini kullanarak birden fazla hedef arasındaki optimum güzergâhın belirlenmesi	50
Şekil 2.5. “Costdistance” algoritmasının çalışma prensibi	53
Şekil 2.6. Maliyet yüzeyi ve birikmiş maliyet değerleri	54
Şekil 2.7. Güzergâh seçimini gösteren yön katmanı	55
Şekil 2.8. DGİH güzergâh tespitinde gerekli konumsal veriler	58

Şekil 2.9. DGİH güzergâh planlama kavramsal modeli	60
Şekil 2.10. Raster tabanlı güzergâh planlama modeli için veritabanı tasarımı	62
Şekil 2.11. DGİH – akarsu geçişi	69
Şekil 2.12. DGİH’de meydana gelen patlamadan etkilenen yerleşim birimleri	71
Şekil 2.13. Hiyerarşi tasarımı	73
Şekil 2.14. DGİH güzergâh tespiti için oluşturulan hiyerarşi	76
Şekil 2.15. Vektör formatında elde edilen yükseklik verisi	89
Şekil 2.16. Eğim alt kriterlerine göre sınıflandırılmış yükseklik veri katmanı	90
Şekil 2.17. Ağırlıklandırılmış maliyet yüzeyi	90
Şekil 2.18. Güzergâh planlama modeli	91
Şekil 2.19. ArcGIS mimarisi	92
Şekil 2.20. Arayüzün genel görünümü	96
Şekil 2.21. Proje türü seçim modülü	97
Şekil 2.22. Faktör ve ağırlık belirleme modülü	98
Şekil 2.23. Raster dönüşüm kod yazım örneği	99
Şekil 2.24. Sınıflandırma kod yazım örneği	100
Şekil 2.25. Aritmetik hesaplama kod yazım örneği	100
Şekil 2.26. Güzergâh planlama modülü	101
Şekil 2.27. Maliyet hesaplama modülü	103
Şekil 2.28. Gerçekleştirme sürecinde uygulanan temel işlem adımları	104
Şekil 2.29. Çalışma alanı	105
Şekil 2.30. Landat ETM+ 543 (RGB) uydu görüntüsü ve görüntü meta verisi	110
Şekil 2.31. Çalışma bölgesine ait ağırlıklı maliyet haritası	114
Şekil 2.32. Birikmiş toplam maliyet yüzeyi üzerinden en uygun DGİH güzergâhının tespiti	115
Şekil 2.33. Türkiye ölçeğinde DGİH’lerin güzergâh tespitinde kullanılan veri katmanları	118
Şekil 2.34. Türkiye ölçeğinde DGİH güzergâh tespiti için oluşturulan veri dosyalama görüntüsü	120
Şekil 2.35. Türkiye için DGİH maliyet yüzeyi haritası	121
Şekil 2.36. NABUCCO DGİH’nin yol geçişleri	122
Şekil 2.37. NABUCCO DGİH’nin yükseklik verisi üzerinde gösterimi	123
Şekil 2.38. Mısır – Türkiye DGİH’nin akarsu geçişleri	124
Şekil 2.39. Mısır – Türkiye DGİH’nin maliyet yüzeyi haritası üzerinde gösterimi	125
Şekil 3.1. Çalışma bölgesine ait çevresel güzergâh	127

Şekil 3.2. Çalışma bölgesine ait sosyolojik güzergâh	128
Şekil 3.3. Çalışma bölgesine ait ekonomik güzergâh	129
Şekil 3.4. Modelin maliyet etkinliği	130
Şekil 3.5. Alternatif güzergâhlar	132
Şekil 3.6. Alternatif güzergâhların AHY ile değerlendirilmesini gösteren hiyerarşik yapı.....	133
Şekil 3.7. NABUCCO DGİH'nin akarsu ve fay hattı geçişleri	138
Şekil 3.8. NABUCCO DGİH'nin eğimli alan geçişleri	139
Şekil 3.9. NABUCCO DGİH'nin litolojik birimlerden geçişleri.....	140
Şekil 3.10. NABUCCO DGİH'nin yerleşim alanlarından geçişleri	140
Şekil 3.11. Mısır Türkiye DGİH'nin akarsu ve fay hattı geçişleri	141
Şekil 3.12. Mısır Türkiye DGİH'nin eğimli alan geçişleri	142
Şekil 3.13. Mısır Türkiye DGİH'nin yerleşim alanlarından geçişleri	142
Ek Şekil 1. Arayüz tasarımında izlenen işlem sırası	160
Ek Şekil 2. Arayüz üzerinde boru hattı türünün seçilmesi	164
Ek Şekil 3. Seçilen verilerin bir “geodatabase” içinde organize edilmesi	166
Ek Şekil 4. Arayüz üzerinde güzergâh planlama modülü	168

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. BTC boru hattında güzergâh tespitinden kaynaklanan değişiklikler	40
Tablo 2.1. CBS yazılımlarının kullandığı güzergâh bulma algoritmalarının karşılaştırılması	52
Tablo 2.2. CBS tabanlı güzergâh planlama modeli için ihtiyaç analizi	56
Tablo 2.3. DGİH güzergâhına etki eden sınırlandırmalar ve ilgili veri katmanları ...	63
Tablo 2.4. DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin genel sınıflandırması	63
Tablo 2.5. AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği	74
Tablo 2.6. Veri katmanlarının DGİH güzergâh planlamasına etki değerleri	78
Tablo 2.7. Eleman sayısına göre rastgele indeks değerleri	79
Tablo 2.8. Arazi örtüsü verisinin alt kriter ağırlıkları	80
Tablo 2.9. Eğim verisinin alt kriter ağırlıkları	81
Tablo 2.10. Jeoloji verisinin alt kriter ağırlıkları	81
Tablo 2.11. Toprak verisinin alt kriter ağırlıkları	82
Tablo 2.12. Heyelan verisinin alt kriter ağırlıkları	82
Tablo 2.13. Flora- Fauna verisinin alt kriter ağırlıkları	83
Tablo 2.14. Koruma alanı verisinin alt kriter ağırlıkları	84
Tablo 2.15. Akarsu verisinin alt kriter ağırlıkları	84
Tablo 2.16. Yol verisinin alt kriter ağırlıkları	85
Tablo 2.17. Rekreasyon verisinin alt kriter ağırlıkları	85
Tablo 2.18. DGİH güzergâhına etki eden faktör ve alt kriter ağırlıkları	87
Tablo 2.19. Yol verisi için örnek veri sözlüğü	108
Tablo 2.20. Uygulama çalışmasında kullanılan veri katmanlarına ait bilgiler	110
Tablo 2.21. Uygulama çalışması için kullanılan sınıflandırma değerleri	112
Tablo 2.22. NABUCCO DGİH güzergâh planlamasında kullanılan veriler	116
Tablo 3.1. Alternatif güzergâhlar arasından en uygun olanın belirlenebilmesi için gerekli faktör ve ağırlıkları	134
Tablo 3.2. Faktör ve alt faktörlere ait konumsal veriler	135
Tablo 3.3. Alt kriterlere ait ağırlıklar	135
Tablo 3.4. Güzergâhların toplam ağırlık değerleri	136

SEMBOLLER DİZİNİ

AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
AKK	: Arazi Kullanma Kabiliyet
BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.
BTC	: Bakü Tiflis Ceyhan
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇMY	: Çizgisel Mühendislik Yapısı
DĞİH	: Doğalgaz İletim Hattı
DGBH	: Doğalgaz Boru Hattı
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
ESRI	: Environmental System Research Institute
EDN	: Esri Developer Network
LES	: Linear Engineering Structure
LS	: Linear Structure
MCD	: Multi Criteria Decision
NABUCCO	: Türkiye-Bulgaristan-Romanya-Macaristan-Avusturya DĞİH
NGTP	: Natural Gas Transmission Pipeline
PBH	: Petrol Boru Hattı
RG	: Rastgele Gösterge
RI	: Rastgele İndeks
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SAT	: Sulu Arazi Tasnifi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TO	: Tutarlılık Oranı
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
UA	: Uzaktan Algılama

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Küreselleşme sürecinin hızlı bir şekilde yaşandığı dünyamızda, kaynakların ihtiyaçlar doğrultusunda bir yerden başka bir yere taşınması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Özellikle son yıllardaki hızlı nüfus artışı ve sanayi sektöründe yaşanan hareketlilik nedeniyle enerji kaynaklarının uzun mesafelere taşınması stratejik önem kazanmıştır. Bu doğrultuda çeşitli taşıma yöntemleri geliştirilmiş ve bu yöntemlerin etkinlikleri üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Thomadis ve Mavrakis, 2006). Petrol boru hatları (PBH), Doğalgaz İletim Hatları (DGİH), yollar, demiryolları, elektrik nakil hatları, sulama/kurutma kanalları gibi teknik altyapı tesisleri bu taşıma yöntemlerinden bazıları olup Çizgisel Mühendislik Yapıları (ÇMY) (*İngilizce kaynaklarda Linear Engineering Structure: LES, bazı İngilizce kaynaklarda ise Linear Structure: LS olarak geçmektedir*) olarak adlandırılmaktadır (Glasgow, 2004). ÇMY'lerin uzun mesafelerde büyük bütçelerle inşa edilmesi, başlangıcından bitişine kadar uzun süreler ve yoğun işgücü gerektirmesi nedeniyle, stratejik olarak planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir (Dey, 2003).

ÇMY planlama aktivitelerinde en önemli adım uygulanabilir bir güzergâh seçimidir (Ryan, 2001). Çünkü bir yüzey üzerinde en uygun güzergâhı bulmak çok karmaşık bir işlemdir. Belirlenen güzergâh projeyi ekonomik, çevresel, sosyolojik ve zamansal olarak her aşamada etkiler (Husdal, 2001). Canlılar ve çevre açısından muhtemel olumsuz etkileri mümkün olduğunca azaltmak ve projeyi en az maliyetle tamamlayabilmek güzergâhın etkinliğine bağlıdır. En uygun güzergâhı belirleyebilmek, birçok karmaşık verinin birlikte irdelenmesine, sorgulanmasına ve analiz edilmesine dayalıdır (Ahmad, 2006).

Güzergâh seçimi, farklı kurum ve kuruluşların sorumluluğundaki mevcut grafik ve grafik olmayan verilerin elde edilmesini, mevcut olmayan verilerin yeterli hassasiyette ve en hızlı bir şekilde toplanmasını, depolanmasını, sorgulanmasını ve analiz edilmesini gerektirir. Yoğun veri setlerinin analiz edilerek, sonuçların hızlı bir şekilde alınabilmesi günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile mümkün olabilmektedir (Yomralıoğlu, 2000). CBS teknolojisi, güzergâh seçiminde, güzergâha etki eden faktörleri bir sistematik içinde düzenleyen etkili bir mühendislik aracıdır. İrdelenmesi gereken faktörlerin projenin uzunluğuna bağlı olarak çok çeşitlilik göstereceği düşünüldüğünde, bu faktörleri eş

zamanlı olarak değerlendirebilmek için CBS yeteneklerinin kullanılması zorunluluk arz etmektedir (Rosado vd., 2005; Luettinger ve Clark 2005; Delevar ve Naghibi, 2003).

Güzergâh seçimi (*route selection*), güzergâh planlama (*route planning*), optimum güzergâh (*optimum route*), koridor analizi (*corridor analysis*), alan seçimi (*site selection*) gibi farklı isimlerle nitelendirilen güzergâh problemleri, CBS tabanlı ağ analizi yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir. CBS teknolojileri son yıllarda hızlı bir gelişme göstermiş, günümüzün en önemli bilişim teknolojilerinden biri olarak ortaya çıkmış ve ağ analizlerinde de etkili bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca CBS teknolojilerinin konumsal karar destek sistemleri olarak bilinen diğer metotlarla kolay entegre edilebilmesi karar vericiler için ağ analizlerinde büyük avantajlar sağlamaktadır (Husdal, 2000; Gewin, 2004).

Ağ analizleri, tanımlanmış veriler üzerinden (yollar, akarsular ya da enerji nakil hatları gibi) vektör tabanlı gerçekleştirilebildiği gibi tanımlanmamış bir yüzey üzerinde raster (hücre ya da piksel) tabanlı da gerçekleştirilebilir (Saha vd., 2005; Yu vd., 2003). Ancak ÇMY güzergâhlarını belirlemeye yönelik yapılan ağ analizi uygulamaları, tanımlı herhangi bir yüzey içermediği için raster tabanlı olarak gerçekleştirilmek zorundadır (Baban vd., 2004). Maliyet hesabı basitliği, tasarım ve modelleme etkinliği, uzaktan algılama verisinin raster formatta optimum elde edilebilmesi gibi nedenler yüzey üzerinde güzergâh tespitinin raster tabanlı olarak gerçekleştirilmesini daha da avantajlı hale getirmiştir (Çevik ve Topal, 2003; Gutierrez ve Rubio, 2004; Rylsky, 2004, Malpica ve Pedraza, 2001).

Raster veri modeli, aynı katmanın pikselleri ya da aynı coğrafi konumdaki farklı katmanlardaki pikseller arasında aritmetik işlemlerin yapılabilmesi için en kullanışlı veri formatıdır. Günümüzde birçok CBS yazılımı, raster veri formatının sağladığı avantajlar nedeniyle, yüzey analizleri, minimum maliyetli güzergâhların belirlenmesi, katmanlar arasında aritmetik işlemlerin oluşturulması gibi belirli fonksiyonları yaygın olarak kullanmaktadır. Raster uygulamalarda pikseller arası yüzey geçişleri, vektör tabanlı bir ağ yapısı üzerindeki çizgiler arasındaki geçişlere göre daha etkilidir. Çünkü ÇMY'ler için en uygun güzergâhı ya da en düşük maliyetli güzergâhı bulmak vektör tabanlı sonlu bir çizgi üzerinde değil, raster tabanlı sürekli bir veri üzerindeki pikseller arası hareketle mümkün olabilmektedir. Güzergâh tespiti sürecinde raster yaklaşımın önemini fark eden birçok araştırmacı, bu yöntemin geçmişten günümüze kadar süregelen bir takım eksikliklerini

gidermek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişler ve çözümler ortaya koymuşlardır (Husdal, 2001; Rosado vd., 2005).

Raster tabanlı ağ analizleri ile ilgili ilk çalışmalar ağ algoritmaları üzerine gerçekleştirilmiştir (Saha vd., 2005). Günümüze kadar gelen süreçte en yaygın kullanılan algoritma Dijkstra algoritmasıdır (Hakbilir, 2004). Tek parametrelili en kısa güzergâh algoritması olarak bilinen Dijkstra algoritması, bir ağ yapısı üzerinde ağırlıklı bağlantılar kullanılarak birbiriyle ilişkilendirilmiş düğüm noktaları üzerinden en kısa güzergâhı bulmak için tasarlanmıştır (Dijkstra, 1959). Başlangıçta vektör veri modelleri kullanılarak geliştirilen bu algoritmayı raster tabanlı ağ analizlerine uyarlamak için her bir piksel, merkezi vektör bir ağ üzerindeki düğüm noktası, komşu piksel merkezleri arasındaki bütün bağlantılar ise ağın çizgileri olarak kabul edilmektedir (Xu and Lathrop, 1994). Ancak raster tabanlı güzergâh belirleme çalışmalarında piksel boyutlarına bağlı olarak yapılan yoğun hesaplamalar ve bunların sonucunda elde edilen ara verilerin depolanma gereksinimi, Dijkstra algoritması için bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bilgisayar kapasitelerine bağlı olarak ortaya çıkan bu sorunun giderilmesi ve ara hesaplamaların daha etkin yapılabilmesi için bazı sınırlandırmalar getirilerek benzer bir Dijkstra algoritması geliştirmiştir (Solka vd., 1995).

Temel ağ analizi algoritmalarının ardından Hazar Denizi bölgesinde gerçek dünya modeli üzerinde boru hattı güzergâh belirleme probleminde Feldman vd. (1995), yüzey şartları, jeoloji, arazi kullanımı vb. gibi özelliklerle ilişkili maliyeti modellemek için uzaktan algılama ve CBS araçlarını birleştiren bir algoritma geliştirmiştir.

Lee ve Stucky (1998) Hawaii’de gerçekleştirilen bir alan çalışmasında, topografya faktörüne bağlı olarak en düşük maliyetli yol güzergâhını bulmaya yönelik bir algoritma geliştirmiş ve bu algoritmayı bir alan çalışması ile test etmiştir. Bu çalışmada sayısal yükseklik modeli üzerinden bilimsel güzergâh, stratejik güzergâh, yasak güzergâh ve geri çekilme güzergâhı olmak üzere dört farklı güzergâh belirlemiştir.

Collischonn ve Pilar (2000) yol ve kanallar için yöne bağımlı en düşük maliyetli güzergâhı bulmak için dinamik programlamaya dayalı bir algoritma ortaya koymuştur. Algoritma, eğim ve mesafeye dayalı olarak bir başlangıç pikselinin sekiz komşu piksel ile ilişkili hareket maliyetlerini irdelemekte ve eğim faktörüne bağlı olarak alternatifli güzergâhlar oluşturmaktadır.

Yu vd. (2003) yol güzergâhlarının raster tabanlı CBS yeteneklerini kullanarak belirlenebilmesi için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma güzergâh üzerinde köprü ve tünel gibi sanat yapılarının yerlerinin belirlenebildiği çözümler sunmaktadır.

Günümüzde ÇMY projelerinde ekonomik, çevresel ve sosyolojik hassasiyetlerin artması, geliştirilen algoritmaların uygulamaya geçirilmesi sürecini hızlandırmıştır. Ayrıca bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, güzergâh belirleme algoritmalarının uygulanması için birçok avantaj sağlamıştır. Bu bağlamda, güzergâh belirleme sürecinde raster tabanlı CBS teknikleri son yıllarda etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır (Delevar ve Naghibi, 2003; Yu vd., 2003).

Montemurro ve Gale (1998) yaptıkları bir çalışmada, boru hatları projelerinde güzergâh seçimi sürecinin, proje için en stratejik aşamalardan biri olduğunu ve bu sürecin projenin başarısını/başarısızlığını önemli ölçüde etkileyeceğini belirtmişlerdir. Ayrıca güzergâh belirleme sürecinin fiziksel, çevresel, politik, sosyal, ekonomik ve yasal faktörlerin bir arada irdelenerek yönetilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarının sonunda, CBS tekniklerinin güzergâhı etkileyen faktörleri, hem nicel hem de nitel analizler ile bir bütün içinde değerlendirebilen en etkili araçlardan biri olduğunu göstermişlerdir.

Gutierrez vd. (2002) yaptıkları bir çalışmada, Meksika'da bir DGIH güzergâhını belirlemek için iki alternatif güzergâh tanımlamış ve güzergâhları ekolojik olarak değerlendirerek en uygun olanını seçmişlerdir. Güzergâh üzerindeki sert iniş çıkışları, tarım alanlarını ve sosyolojik faktörleri irdelleyen bir indeks geliştirmişler ve bu indeks üzerinden güzergâhlara ait maliyetleri de hesaplamışlardır. Bu çalışmada geliştirilen model üzerinden yapılan analizlerle belirlenen güzergâhın; ekolojik etki değerlerinin, risk olasılıklarının ve maliyetinin en optimum olduğu görülmüştür.

Yusof ve Baban (2004) raster tabanlı bir CBS modeli üzerinden Malezya'da bir su havzasından sağlanacak içme suyunun, iki kente boru hatları ile taşınabilmesi için gerekli olan en optimum güzergâhı belirlemişlerdir. Bu çalışmada arazi örtüsü, yüzey özellikleri, jeolojik yapılar, çevresel etkenler ve eğim değerleri gibi faktörlerin güzergâhı etkilediğini ve bu etkinin yüksek maliyetler oluşturacağı problem olarak ortaya koyulmuştur. Bu problemin çözümü için raster tabanlı CBS modelleri kullanarak iki alternatif güzergâh belirlenmiştir.

Saha vd. (2005) Himalayalar bölgesinde bir yol projesinde, en optimum güzergâhı belirleyebilmek için erozyon dağılımı, erozyon tehlike birimleri, arazi kullanımı, arazi örtüsü, drenaj ve jeoloji gibi çeşitli katmanlar oluşturmuş ve uzaktan algılama ve CBS

teknikleri kullanılarak bu katmanları bütünleştirmişlerdir. Raster formatta elde edilen veri katmanlarını matematiksel bir hesaplama tabi tutarak “tematik maliyet haritası” oluşturmuşlardır. Ayrıca günümüzde güzergâh planlama çalışmalarının artık klasik yöntemlerle yapılmamasını ve uzaktan algılama / CBS entegrasyonunun bu süreçte etkin olarak kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Ortaya koydukları bu modelin güzergâh belirleme sürecini çok kısalttığını ve CBS tekniklerinin güzergâh belirleme işlemlerinde kullanılması gerektiğini kanıtlamışlardır. Bunun yanı sıra modelin alternatif güzergâhlar üretebildiğini ve erozyon alanlarından geçmeyen güzergâhın optimum güzergâh olarak seçilebildiğini göstermişlerdir.

Raster tabanlı ağ analizi teknikleri kullanılarak yapılan güzergâh belirleme çalışmalarına: sulama ya da kurutma kanalları için topografya ve hidroloji verilerine dayalı çalışmalar (Heatwole and Kilgore, 1997; Yusof and Baban, 2004; Smith, 2006), demiryolları için arazi kullanımı/örtüsü, heyelan ve deprem gibi yüzey üzerindeki verileri irdeleyen çalışmalar (Ashish and Dhingra, 2005; Ko vd., 2005; Gipps vd., 2001) ve güç iletim hatları için topografya, hidroloji ve arazi örtüsü verilerini kullanan çalışmalar (Cheng and Chang, 2001; Warner and Diab, 2002; Qiu vd., 2004) örnek olarak gösterilebilir.

CBS'nin en önemli bileşenlerinden biri de veridir (Yomralıoğlu, 2000). Raster tabanlı CBS modelleri üzerinden gerçekleştirilecek güzergâh belirleme çalışmalarında başlangıçta konumsal ve konumsal olmayan verilerin hızlı ve doğru olarak toplanması gerekmektedir. Sonuçların etkinliği, verinin güncelliği ve doğruluğu ile orantılıdır (Yıldırım vd., 2008). Bu bağlamda verinin hızlı, ekonomik ve yeterli doğrulukta elde edilmesinde kullanılan yöntemlerin başında uzaktan algılama (UA) teknolojileri gelmektedir. Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları raster tabanlı güzergâh belirleme işlemleri için gerekli verilerin elde edilmesinde etkili araçlardandır.

Türkiye’de konumsal veri eksikliği, kurumlar arası veri akışı sorunları ve genelde yaşanan veri koordinasyonu sorunları göz önüne alındığında UA ile veri toplama yöntemlerine gereksinim vardır. UA ve CBS teknolojilerinin bütünleşik bir şekilde kullanımı yalnızca coğrafi nitelik taşıyan bilginin kalitesini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda daha önce ekonomik bir şekilde üretilmeyen bu türden bilgilerin, daha güncel bir şekilde elde edilmesini sağlar. CBS ortamında uydu görüntülerinin kullanılması, geniş alanların planlanmasına ve karar vericilerin kararlarını en kısa zamanda ve etkili bir şekilde uygulamalarına olanak sağlamaktadır (Reis, 2003).

Türkiye, jeopolitik konumu itibariyle, Ortadoğu ve Hazar bölgesinde bulunan petrol ve gaz rezervleri ile Avrupa'daki tüketici pazarları arasında doğal bir enerji köprüsü görevi görmektedir. Mevcut boru hattı çalışmaları Türkiye'nin hem kuzey-güney hem de doğu-batı doğrultusunda önemli bir geçiş hattı olduğunu kanıtlamaktadır. Hazar bölgesi ve Orta Asya'da üretilen petrol ve gazın, nüfus açısından kalabalık ve stratejik olarak çok önemli olan boğazlar kullanılmadan, boru hatları ile taşınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra Türkiye'nin büyüyen artan doğalgaz tüketimi, ülkenin doğalgaz taşıma altyapısının güçlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Nitekim, Türkiye üzerinden geçen uluslararası boru hatlarının sayısının sürekli artması, ülkenin kendi iç boru hattı ağının güçlendirilmesine hızla öncülük etmektedir (URL-1, 2006; Schleifer, 2005; URL-2, 2008; WORLDBANK, 2003; Mavrakis vd, 2006).

Türkiye'de çok sayıda ÇMY projesi yürütülmekte ve bu projelerin önümüzdeki yıllarda artarak devam edeceği öngörülmektedir (WORLDBANK, 2003). Mevcut bazı ÇMY projelerinin güzergâh belirleme çalışmalarında CBS teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca Türkiye'de CBS tabanlı güzergâh belirleme ile ilgili bazı bilimsel çalışmalar da yapılmıştır. Tümay (2001) güvenli karayolu ulaşımı için CBS tabanlı bir güzergâh belirleme modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada, CBS teknolojilerinin karayolu güzergâhlarının tespitine yapacağı katkıların gösterilmesi amaçlanmıştır. CBS tabanlı güzergâh belirleme işleminin, karayolu yapım maliyetlerini azaltacağını, karayolu kusurlarını en aza indireceğini ve yapım çalışmalarını hızlandıracağını belirtmiştir. Bu bağlamda GAP bölgesinde; jeoloji, eğim, bakı, fay hatları ve su kaynakları verileri kullanılarak örnek bir uygulama çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma yöntemi olarak öncelikle mevcut karayolu güzergâh belirleme yöntemlerini analiz etmiş ve bu yöntemlerde kullanılan verileri ve bu verilerin kalitesini irdemiştir. Bu bilgilerin ışığında güzergâh tespiti için yeni bir matematiksel model geliştirmiş ve örnek uygulama çalışması ile modeli test etmiştir. Sonuçta sadece 1/25.000 ölçekli topografik haritalarda bulunan eğim bilgisi ile yapılan klasik güzergâh belirleme yönteminin sorunlar ortaya çıkardığı; ekonomik ve çevresel diğer faktörlerin de bu süreçte irdelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Ancak mevcut verilerin detaylarının yetersiz olması bu modelin önündeki, en büyük engeli oluşturmuştur.

Çevik ve Topal (2003) yılında Sakarya'nın Hendek ilçesi yakınlarında heyelandan zarar gören DĞİH güzergâhının tekrar belirlenebilmesi için heyelan riski olmayan bölgelerin tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, boru hattının

heyelandan etkilenen bölgesinde, heyelan etki alanı haritası oluşturmak için CBS tabanlı yöntemler kullanılmıştır. Bu amaç için heyelan, litoloji, eğim, yön, yükseklik, arazi kullanımı, akarsu ve drenaj yoğunluğu gibi veri katmanları oluşturmuştur. Çalışma alanında, heyelanların killi katman bulunmayan alanlarda meydana geldiğini tespit etmiştir. Litoloji, bu tür bir çalışmada en önemli veri katmanı olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara dayalı olarak, yeniden güzergâh belirlenirken killi olmayan alanlardan ve alüvyon arazilerden geçilmemesi ve tarımsal faaliyetlere boru hatları boyunca izin verilmemesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Çam (2003) Hazar bölgesi petrollerinin dünya pazarlarına açılımını sağlayacak ana ihraç boru hattı güzergâhını belirlemek amacıyla farklı alternatif çözümleri değerlendirmiştir. Güzergâha etki eden faktörlere; literatür taraması ile elde edilen bulgular ışığında petrol endüstrisinde deneyimli uzmanlar tarafından karar verilmiştir. Bu bağlamda kaynak ülkeler, yatırımcı şirketler, tüketici ülkeler, güzergâhın geçtiği ülkeler ve A.B.D ana kriterler olarak belirlenmiştir. Alternatif güzergâhlar ise; Hazar-Akdeniz, Hazar-Pasifik, Hazar-Karadeniz/Akdeniz, Hazar-Basra ve Hazar-Karadeniz olarak belirlenmiştir. Bu güzergâhlar, temel kriterler dikkate alınarak AHY ile irdelenmiştir. Bu irdilemede sadece sözel veriler kullanılmıştır. Sonuçta en uygun güzergâhın Hazar-Akdeniz (Bakü-Tiflis-Ceyhan) güzergâhı olduğunu tespit etmiştir.

Hakbilir (2004) en düşük maliyetli güzergâhı bulmak için raster CBS yeteneklerini kullanarak bir uygulama programı geliştirmiştir. Bu program üzerinden farklı büyüklükteki ve farklı çözünürlükteki haritaları kullanarak farklı güzergâhlar belirlemiştir. Ayrıca programında kullandığı Dijkstra'nın en kısa güzergâh algoritmasını yaygın olarak kullanılan ArcGIS Spatial Analyst modülü ile kıyaslamıştır. Dijkstra Algoritması'nın öncelikli kuyruk ile gerçekleştirilmesi yönteminin, ArcMap yazılımının Spatial Analyst modülüne göre zamansal performans sağladığını tespit etmiştir.

1.2. Problemin Tanımı

Hızlı sanayileşme, göç ve nüfus artışı nedeniyle yakın mesafelerdeki kaynakların gelen talebi karşılayamaması, çeşitli taşıma yöntemleri kullanarak daha uzaklardaki kaynaklara erişimi gerekli kılmıştır (WORLDBANK, 2003). Bu gereksinim son 20 yıldır dünya genelinde, uzun mesafelerde boru hatları, enerji nakil hatları, demiryolları ve karayolları gibi projelerin yoğun şekilde ve her geçen gün artarak inşa edilmesine neden

olmuştur (WORLDBANK, 2003). Bu tür projelerden beklenen faydanın elde edilmesinde ve sürdürülebilirliklerinin sağlanmasında en temel işlem başlangıçta optimum bir güzergâh tespiti yapılmasıdır. Türkiye’de yürütülmekte olan ÇMY faaliyetleri, gelişen bilişim teknolojisi ve yapılması planlanan diğer projeler dikkate alındığında ülke kaynaklarının etkin yönetilmesi açısından, mevcut klasik güzergâh belirleme yöntemlerinin yenilenmesi gereği kaçınılmazdır. Kullanılan klasik yöntemlerde temel işlem adımı; başlangıç ve hedef noktası arasında en kısa güzergâhı temsil edecek olan hattın, topografik harita üzerinde işaretlenmesi ve araziye uygulanmasıdır. Belirlenen bu hat iki nokta arasındaki en kısa güzergâhtır. Projenin uygulanması aşamasında, belirli bir koridor genişliği içinde engel durumuna göre sapmalara izin verilmektedir. Bu tür güzergâh tespiti işlemlerinde, önceden tespit edilemeyen engeller dolayısıyla projeler yavaşlamakta, keskin dönüşler yapmakta ya da belli bir uzunlukta geri alınmaktadır (Chaudhuri, 2006). Birçok durumda olması gerekenden fazla sayıda akarsu, yol ve demiryolu geçişi yapılmakta, bu durum projenin maliyetini, süresini ve işletim masraflarını arttırmaktadır (Iqbal vd., 2006). Önceden tespit edilemeyen riskli alanlardan geçiş durumunda, koruma yapıları için ek maliyetler ortaya çıkmakta ya da bir tehlike durumunda ÇMY’nin yapım faaliyetlerine ara verilmektedir. (Çevik ve Topal, 2003; Dey ve Gupta, 2001). Yani klasik yöntemlerle yapılan güzergâh belirleme işleminde, güzergâha etki eden faktörlerin bütün olarak dikkate alınamamasından dolayı projelerin yapım faaliyetleri, işletilmesi ve kullanım süreleri olumsuz yönde etkilenmektedir (Zhenyi, 2006).

Türkiye’de gerçekleştirilen mevcut projeler incelendiğinde yanlış güzergâh tespitinden dolayı, yapım maliyetlerinin proje maliyetinden fazla olduğu, çevresel zararın kabul edilebilir sınırların üzerine çıktığı, birinci sınıf tarım arazilerinin tahrip edildiği, jeolojik sakıncalı alanların kullanıldığı ve bazı durumlarda fay hatlarından geçildiği görülmektedir (Orhan ve Yılmaz, 2006). Bu bağlamda, kaynakların optimum yönetimi açısından ÇMY’ler için CBS destekli etkin bir güzergâh tespiti modeli oluşturulması Türkiye için öncelik arz etmektedir (Yildirim vd., 2008).

Jeopolitik (stratejik) konumu dolayısıyla Türkiye çeşitli kaynaklarda Güney Enerji Koridoru, Kuzey-Güney Enerji Koridoru ve Avrasya Enerji Koridoru olarak tanımlanmaktadır (Mavrakakis vd., 2006; URL-1, 2006; Çetin ve Oğuz, 2007). Bu durum Türkiye’yi gelecek 10 yıl içinde özellikle boru hatları projeleri dolayısıyla yabancı yatırımcılar için bir cazibe merkezi haline getirecektir. Çünkü Anadolu, güvenli boru hattı taşımacılığı için önemli bir geçiş koridoru olarak görülmektedir (Çetin ve Oğuz, 2007).

Ayrıca uluslararası büyük çaplı petrol ve gaz boru hatlarının sayısının sürekli artması, Türkiye'nin kendi dağıtım ağını büyütmesine de öncülük etmektedir. Son 10 yılda Türkiye'de faaliyete geçirilen boru hattı uzunluğu bunu doğrulamaktadır (Çiçek, 2005). Tarihi İpek yolu projesini canlandıracak Ortadoğu demiryolunun faaliyete geçirilmesi (Dostyk, 2005; Anonim, 2008), zengin su kaynaklarının daha etkin planlama ile uzak mesafelere optimum dağıtılması (Inbar, 2001; Kohn, 2003), enerji ihtiyacına yönelik hidroelektrik santrallerinin inşaat çalışmaları ve buralardan üretilen enerjinin talep doğrultusunda iletiminin sağlanması (Oktay, 2009; Yüksel, 2008) ve karayolu projeleri Türkiye'nin gündeminde olan diğer önemli ÇMY projelerdir.

Önemli enerji kaynaklarından yoksun olmasına rağmen, enerji sektöründe söz sahibi olmak isteyen Türkiye'nin bu hedefine ulaşabilmesi için; jeopolitik konumunu kullanarak yoğun boru hattı faaliyetleri gerçekleştirmesi gerekir (Schleifer, 2005). Bu faaliyetlerin etkin bir biçimde yürütülebilmesi, ÇMY'ler için bir planlama modelinin öncelikle oluşturulmasına bağlıdır (Yıldırım, 2007). Ancak Türkiye'de, bütün ulaştırma sektöründe olduğu gibi boru hattı ulaştırmasında da zaman, ekonomi ve güvenlik faktörlerinin irdelenerek en uygun sonuçların alınabileceği ana bir dağıtım ağı planlaması henüz yapılmamıştır. Bu durum, boru hattı projelerinde plansız, birbirinden bağımsız, kısa vadeli çözümlere yönelmeye neden olmaktadır.

Boru hattı projelerinde verimliliğin artırılması, mevcut kapasitelerin etkin bir biçimde kullanılması, yeni kapasitelerin eşgüdüm içerisinde programlanması gibi temel konularda beklenen gelişmeler sağlanamamaktadır. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), koordinatörlüğünde hazırlanan Boru Hattı Ulaştırma Komisyonu raporuna göre yeni boru hattı yatırımlarının başta Doğal Gaz Boru Hattı (DGBH) yatırımları olmak üzere, bir Enerji Planı ile ilişkilendirilmek suretiyle programlanması bugüne kadar gerçekleştirilememiştir (Anonim, 2008). Bu nedenle, DGBH yatırımlarının, doğalgazın Türkiye genel enerji dengesi içindeki yerini uzun vadeli olarak belirleyecek kapsamlı bir çalışmaya dayandırılması ilkesi de bugüne kadar uygulanamamıştır (Anonim, 2008; D.P.T., 2007). Bununla birlikte IX. beş yıllık kalkınma planında, özellikle transit boru hatlarının petrol taşıma kapasitesinin 2013 yılına kadar %37,7 oranında artacağı, bu bağlamda Türkiye'nin mevcut jeopolitik konumunu enerji üreten ve enerji tüketen ülkeler arasında transit bir geçiş oluşturarak daha da güçlendireceği öngörülmektedir (D.P.T, 2008).

Mevcut durumda ülkemizde yoğun boru hattı faaliyetleri gerçekleştirilmekte ve bu faaliyetlerin gelecekte artarak devam etmesi öngörülmektedir (Akpınar, 2005). Bu nedenle

güzergâh problemlerinin dinamik yapıda ve bir otomasyon sürecinde çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Karar vericinin her defasında farklı veriler, farklı faktörler ya da farklı ağırlıklar kullanması yerine standart bir modelin oluşturulması ve bu modelin dinamik bir ara yüze aktarılması gerekmektedir. Bu süreçte güzergâha etki eden faktörlere ait verilerin gerekli standartlarda bir veritabanı içinde organize edilmesi de sağlanmalıdır. Karar verici için bu modelin grafik veriyi hızlı ve doğru bir şekilde sorgulayabilmesi ve her türlü sonucu gerekçesi ile birlikte raporlandırabilmesi önemlidir. Bu bağlamda modelin CBS tabanlı oluşturulması gerekmektedir.

Güzergâh tespiti problemlerinde ÇMY türüne göre birçok faktör birlikte irdelenmelidir. Bu faktörler mevcut durumda karmaşık ve dağınık bir yapıdadır. Genelde karar vericiler kullanacağı faktörleri ve bu faktörlerin güzergâha etki oranlarını rastgele belirlemektedir. Oysa güzergâh tespitinde kullanılması gerekli faktörlerin önem sırasına göre belirli bir sistematik içinde organize edilmesi gerekmektedir. İstatistiksel irdelemeler sonucunda gerekli faktörler belirlenmeli ve faktör sayısı mümkün olduğunca minimuma indirgenmelidir. Ayrıca ÇKKV yöntemleri kullanılarak bu faktörlerin güzergâha etki oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda oluşturulacak raster tabanlı güzergâh belirleme modeli faktör ve ağırlık belirleme sürecini dinamik olarak kapsamalıdır.

ÇMY'ler basitçe başlangıç ve bitiş noktaları belli olan bir güzergâhta inşa edilen altyapı tesisleri olarak tanımlanabilir. Ama gerçekte, bu tür projeler çok yoğun planlama, mühendislik, veri toplama, yapım ve kamulaştırma aktivitelerini kapsarlar. Ayrıca bu projeler kaynakların taşınmasında önemli yere sahip, ulusal ve uluslar arası en büyük yatırım projeleri olarak değerlendirilirler (Akkuş vd., 2007). ÇMY'lerin yaygın karakteristik özelliklerinden biri de yapım aşamasına geçildikten sonra herhangi bir olumsuz durumda güzergâh değişikliği işleminin çok zor yapılmasıdır. Özellikle çok uzun mesafelerde inşa edilen bu yapıların dikkatli planlanması, proje maliyetlerinin düşürülmesi, potansiyel risklerin ortadan kaldırılması, çevresel sorunların azaltılması ülkeler için önemlidir (Thomaidis ve Mavrakakis, 2006). Bu tür projelerin planlama aktivitelerinde en önemli adım uygulanabilir bir güzergâh seçimidir. Güzergâh seçiminde raster tabanlı CBS modellerinin kullanılması; yapım maliyetlerin azaltılması, çevresel sorunların en aza indirgenmesi, sosyolojik dengenin bozulmaması ve projenin sağlayacağı faydaların üst seviyeye çıkarılabilmesi için bazı avantajlar sağlar. Dünyada bu modellerin kullanılması yönünde hızlı ilerlemeler kaydedilmektedir (Saha vd., 2005). Türkiye'de ise CBS tabanlı güzergâh belirleme çalışmaları son zamanlarda uygulanmaya başlamıştır.

Bütün CBS uygulamalarında olduğu gibi güzergâh tespiti çalışmalarında da en önemli bileşenlerden biri veridir (Yomralıoğlu, 2000). ÇMY'lerin başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki mesafenin genellikle çok uzun olması, verinin güncel ve hızlı şekilde elde edilmesini zorlaştırmaktadır (Reis, 2003). Bu tür büyük çaplı projelerde verilerin klasik veri toplama yöntemleri ile vektör tabanlı elde edilmesi zaman ve maliyet açısından problemler oluşturmaktadır. Oysaki ÇMY güzergâhlarının doğru tespit edilebilmesi, verinin etkin bir şekilde hızlı ve az maliyetle toplanmasına bağlıdır. Büyük alanlara ait verilerin elde edilmesinde UA teknolojileri önemli faydalar sağlamaktadır. UA teknolojileri ile verinin direkt olarak raster formatta elde edilebilmesi, ÇMY güzergâhlarının raster veri modelleri üzerinden gerçekleştirilmesinde avantaj sağlamaktadır. Bu bağlamda raster tabanlı ağ analizi yönteminin, ÇMY güzergâhı tespitinde etkin olarak kullanılması gerekmektedir. Ayrıca vektör veri yapısı ile bütün yüzey özelliklerinin sürekli bir yapıda modellenememesi raster tabanlı ağ analizi yönteminin kullanımını gerektirmektedir. Çünkü tanımsız yüzey üzerinde güzergâh ancak raster veri üzerinden tespit edilebilir.

ÇMY'lerin güzergâh tespitinde, potansiyel erozyon alanlarının, koruma alanlarının, flora/fauna alanlarının, bataklıkların, sert kayaç yapılarının, toprak türlerinin, diğer altyapı tesislerinin yerlerinin, tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bölgelerin ve güzergâhı etkileyecek diğer birçok faktörün önceden belirlenememesi, bu projelerde çevresel ve ekonomik sorunlar yaşanmasına neden olmaktadır. Özellikle Türkiye'de; erozyon alanlarından geçen boru hatlarının tekrar inşa edildiği, özel bir hayvan türünün üreme bölgesine denk gelen boru hattının üreme tarihi için günlerce bekletildiği, sert kayalara ya da çok dik yamaçlara denk gelen boru hatlarının keskin dönüşten kaçınmak için belli bir mesafede geri alınarak yeniden inşa edildiği ve gereksiz akarsu ve sulak alan geçişleri için ek maliyetler çıkarıldığı birçok mevcut proje vardır (Orhan ve Yılmaz, 2006). Diğer ülkelerde ise bu tür sorunların yanı sıra, ÇMY'lerin deprem fay hatlarından (Cluff vd., 2003), maden yataklarından (Dey ve Gupta, 2001) ve birçok insanın ölmesine neden olan yerleşim alanlarının yakınlarından geçtiği (Rowland, 2005) projeler mevcuttur. Ayrıca boru hatlarının kullanım sürelerine etki eden faktörlerin (çürüme ve aşınmaya etki eden yeraltı suları, toprak cinsi ve jeolojik yapılar) belirlenememesinden dolayı boru hatlarının tahmin edilen işletim süresini tamamlayamadan iptal edildiği ya da aşırı bakım maliyetleri ile tekrar onarıldığı projeler de bulunmaktadır (Dey, 2001).

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasının temel amacı; ÇMY'lerin optimum şekilde tesis edilebilmesi için, güzergâh belirleme işlemlerinin etkin bir şekilde yapılabilmesine olanak sağlayacak coğrafi bilgi teknolojilerine dayalı raster tabanlı dinamik bir modelin geliştirilmesidir. Modelin genel anlamda bütün ÇMY'leri, fakat özel anlamda ise Dünya'da ve Türkiye'de günümüzde yaygın faaliyet alanı bulan DGİH'leri kapsamı hedeflenmiştir. Bu temel amaç doğrultusunda oluşturulması planlanan raster tabanlı dinamik güzergâh belirleme modelinde, DGİH'lerin güzergâhına etki edecek temel faktörler belirlenecek ve bu faktörlere bağlı olarak gerekli konumsal/konumsal olmayan veri katmanları üretilerek standartlara uygun bir şekilde sınıflandırılacaktır. Bu aşamada farklı kurum ve kuruluşlardaki uygulayıcıların bu modeli kullanması durumunda gerekli olan veri dönüşüm standartları da belirlenecektir.

Doğalgaz iletim hattı güzergâhına etki edecek faktör ve alt kriter ağırlıklarının ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHY kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte AHY'nin doğalgaz iletim hattı güzergâhına etki edecek faktörlere ait ağırlıklarının belirlenmesindeki etkinliği de irdelenecektir.

Bu modelde, kullanıcının elindeki mevcut konumsal verilere göre faktör seçimi yapabilmesi ve ayrıca hesaplanan "default" ağırlık değerlerini değiştirerek dinamik olarak alternatif güzergâhlar üretebilmesi de hedeflenmiştir. Bu bağlamda ilgili veri katmanlarının seçilebildiği, faktör ağırlıklarının anlık olarak değiştirilebildiği, piksel boyutlarının kullanıcı tarafından belirlenebildiği, güzergâh planlaması yapılabilen ve her bir güzergâh için ortalama maliyet değeri hesaplayan dinamik bir arayüz geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilecek raster tabanlı bu dinamik modelin, bu arayüz üzerinden, mevcut bir DGİH'nin optimizasyonu yapılarak test edilmesi öngörülmüştür. Bu süreçte modelin performansı, hızı ve doğruluğu istatistiksel analizlere dayalı olarak ortaya koyulacaktır. Modelin test sürecinin arkasından Türkiye için DGİH güzergâhlarının belirlenebilmesine yönelik piksel tabanlı bir maliyet yüzeyi haritası oluşturulması hedeflenmiştir.

1.4. Metodoloji

Tespit edilen problemler ve bu problemlerin çözümüne yönelik gerçekleştirilmesi planlanan bu tez çalışmasında genel olarak izlenecek işlem adımları şu şekildedir:

- Raster tabanlı ağ analizleri ile ilgili algoritmalar, yazılımlar, gerçek uygulamalar, bilimsel yayınlar, faktörler ve faktör ağırlıklarının belirlenmesine yönelik literatür araştırması yapılması,
- Raster tabanlı güzergâh planlama modellerine olan gereksinimin belirlenmesi ve bu bağlamda ilgili kurum ve kuruluşlar bünyesinde çalışmalar yapılması,
- DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin belirlenmesi ve bunlara bağlı veri katmanlarının oluşturulması,
- DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin ve bu faktörlere ait alt faktörlerin ağırlık değerlerinin AHY ile hesaplanması,
- DGİH'lerin belirlenmesi için CBS ile raster tabanlı dinamik modelin oluşturulması,
- Oluşturulan modelin gereksinimleri doğrultusunda arayüz geliştirilmesi,
- Modelin uygulanabilirliğinin gösterilmesi ve test edilmesi için alan çalışması yapılması,
- Model üzerinden Türkiye için DGİH güzergâhlarının belirlenmesine yönelik piksel bazında geçiş zorluklarının belirlendiği maliyet yüzeyi haritasının oluşturulması,
- Türkiye için bazı DGİH projelerinin güzergâhlarının belirlenmesi

1.5. Temel Tanım ve Kavramlar

Bu bölümde tez çalışmasının bütününde kullanılacak olan bazı temel kavramlar hakkında kısa tanımlayıcı bilgiler verilecektir.

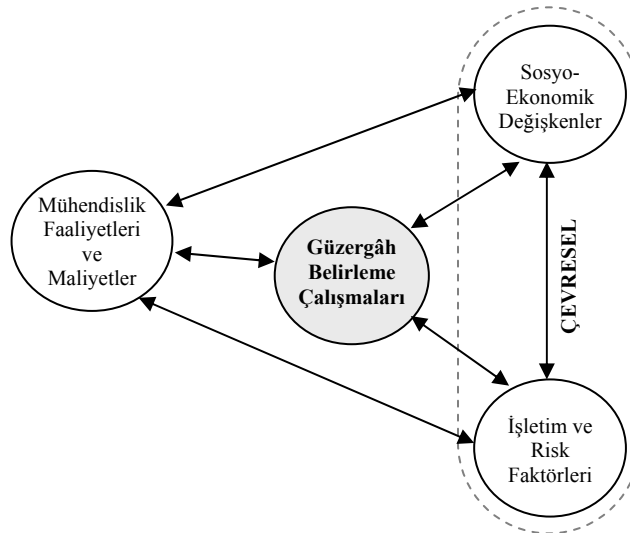
1.5.1. Güzergâh Planlama

Başlangıç, bitiş ve durak noktaları önceden belirlenmiş bir ÇMY için güzergâhın belirlenmesi; güzergâha etki edecek birçok değişkenin belirli bir sistematik içinde değerlendirilmesini, bunlara göre alternatiflerin oluşturulmasını ve en uygun güzergâhın seçilmesini içeren karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin ekonomik, sosyolojik, çevresel, teknik ve zamansal olarak etkin bir şekilde yönetilebilmesi için gerçekleştirilen çalışmaların bütünü güzergâh planlama olarak adlandırılır. Gerek yol ağı gibi tanımlı yüzeyler üzerinde araçlar için en uygun güzergâhın belirlenmesi, gerekse herhangi bir ağ yapısı olmayan

tanımsız yüzeyler üzerinde herhangi bir ÇMY güzergâhının belirlenmesi çalışmaları önemli araştırma alanlarından biri olarak görülmektedir (Huang vd., 2004). Güzergâh planlama, başlangıç ve bitiş noktası olarak tanımlanmış iki nokta arasında, güzergâhı etkileyecek yüzey üstü ve yüzey altı birçok faktöre bağlı olarak, en optimum güzergâhın bulunabilmesine yönelik bir karar verme süreci olarak da tanımlanabilir (URL_3, 2007).

Bir ÇMY projesi için güzergâh seçimi, bazı sınırlandırmaların tanımlandığı ve ekonomik yapılabilirliğin irdelendiği bir süreçtir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi bir ÇMY projesinin yapımındaki bütün bileşenler ya da kısıtlamalar güzergâh seçimi ile doğrudan ilgilidir. Birçok durumda, ideal güzergâh başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki düz bir çizgi olarak düşünülebilir. Fakat topografik, çevresel, tasarımsal ve teknik sınırlandırmalar güzergâhı değiştirir. DĞİH için en uygun güzergâhının seçiminde genel olarak aşağıdaki etkenler dikkate alınmalıdır (Mohitpour vd., 2007):

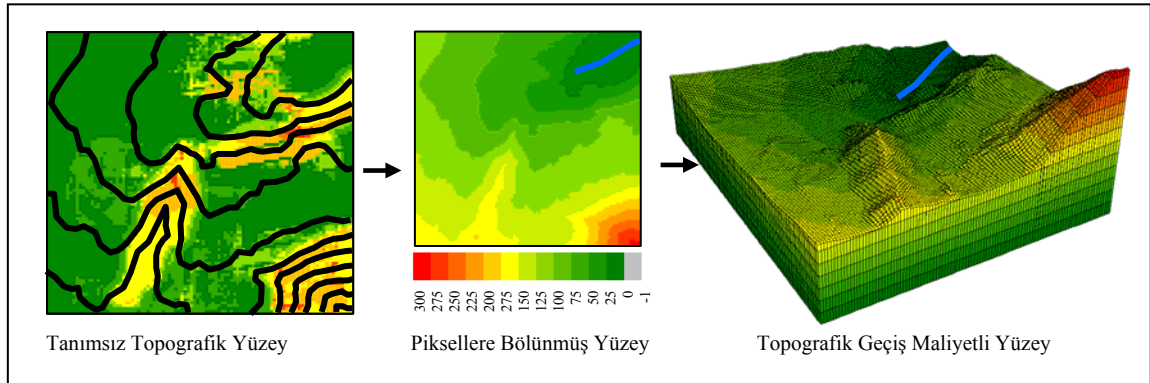
- Maliyet,
- Boru hattı bütünlüğü,
- Çevresel faktörler,
- Kamusal güvenlik,
- Arazi kullanım sınırlandırmaları,
- Mevcut yapılar için yakınlık sınırlandırmaları,
- Sosyolojik faktörler,



Şekil 1.1. Güzergâh seçimi sürecindeki temel hususlar (Mohitpour vd., 2007)

Tanımlı Yüzey Üzerinde Güzergâh Planlama: Ağ yapısı teşkil eden çizgisel özellikler (yol ağı, akarsu ağı, boru hattı ağı, enerji nakil hattı ağı, su dağıtım ağı gibi) tanımlı bir yüzey oluştururlar. Bu tür yüzeyler üzerinde yapılan güzergâh planlama çalışmaları, tanımlı yüzey üzerinde güzergâh planlama olarak adlandırılır. Bu tür güzergâh belirleme çalışmaları CBS içinde vektör veri modelleri kullanılarak tanımlanabileceği için, vektör tabanlı ağ analizi olarak da isimlendirilebilir.

Tanımsız Yüzey Üzerinde Güzergâh Planlama: Üzerinde herhangi bir ağ yapısı oluşmamış yüzey, ağ analizlerinde tanımsız yüzey olarak adlandırılır. Tanımsız bir yüzey üzerinde güzergâha etki edecek faktörler sayısal değerlerle temsil edilir ve yüzey uygun boyuttaki piksellere bölünerek bu değerler ilgili piksellere atanır (Şekil 1.2). En uygun güzergâh, birbirine komşu pikseller üzerinden, piksel değerleri dikkate alınarak hesaplatılır. Bu işlem, tanımsız yüzey üzerinde güzergâh planlama ya da raster ağ analizi olarak isimlendirilir.

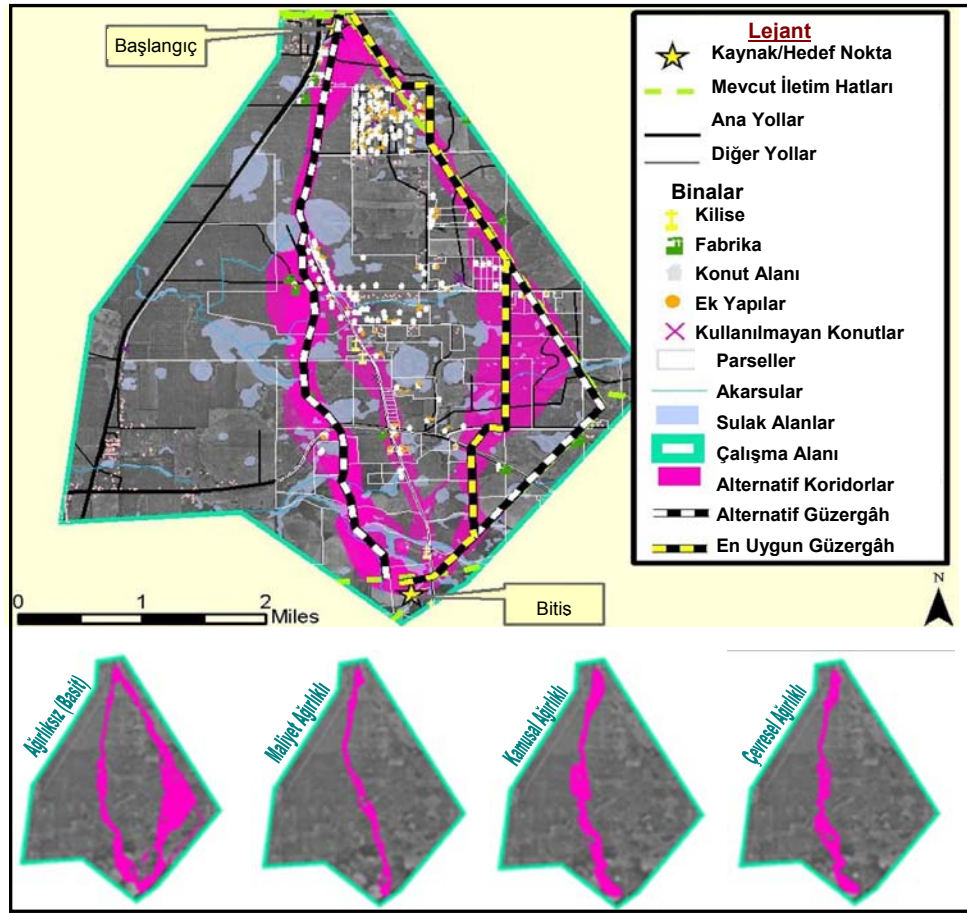


Şekil 1.2. Tanımsız yüzey üzerinde güzergâh bulma

Güzergâh Bulma (*Route selection – site selection*): Verilen iki nokta arasında zaman, hız ve maliyet gibi temel özellikleri dikkate alarak gerçekleştirilen güzergâh tespiti işlemidir.

Optimum Güzergâh (*Optimum route*): İki nokta arasında, projenin yapımına, işletilmesine ve sürdürülebilirliğine etki edebilecek bütün faktörlerin irdelenmesi suretiyle belirlenen en düşük maliyetli güzergâh optimum güzergâh olarak tanımlanmaktadır. Projenin amacına göre, ekonomik, çevresel, sosyolojik maliyetlerin herhangi birinin ya da birkaçının aynı anda minimum olduğu güzergâhlar olarak da tanımlanabilir (Zhang, 2003).

Koridor Analizi (*Corridor Analysis*): Boru hattı, karayolu veya demiryolu gibi çizgisel yapılar için doğru güzergâhın bulunması oldukça karmaşık bir problemdir. Yüzey üzerinde başlangıç noktasından hedef noktasına kadar bir koridor yerleştirmek güzergâh belirleme sürecine benzerdir. Bu bağlamda koridor analizi, raster CBS deki ağ analizleri ve en kısa güzergâh bulma işlemleri ile oldukça yakın ilişkilidir (Husdal, 2001). Koridor analizi sonucu elde edilen güzergâh düz bir çizgi değil içinde belirli miktarda harekete izin verilebilen geniş bir alandır (Şekil 1.3). Daha çok hareketleri düzensiz olan canlı-cansız varlıklar için kullanılır (Walker ve Craighead, 2002; Berry, 2000).



Şekil 1.3. Koridor Analizi (Berry, 2000)

Alternatif Güzergâh (*Route Alternatives*): ÇMY güzergâhına etki edecek muhtemel faktörlerin çokluğu, projeden beklentilerin çeşitliliği ve maliyet faktörünün değişkenliği güzergâh planlama sürecinde alternatif güzergâh kavramını ortaya çıkarmıştır. Güzergâha etki eden faktörlerin sayısı ya da ağırlıklarının değiştirilmesi ile ortaya çıkan çoklu güzergâhlara alternatif güzergâh denilmektedir (Dey and Gupta, 2001).

1.5.2 Güzergâh Optimizasyonu

Optimizasyon, bazı kısıtlamaları dikkate alarak, belirlenmiş parametre setlerini en uygun hale getirmek amacıyla bir üretim sürecinin düzenlenmesi disiplini. Optimizasyon tekniklerinin önemli özellikleri; planlamayı bir bütün olarak ele alması, çözüme sistematik yaklaşması ve optimum (en iyi) çözümü garantilemesidir. Optimizasyon teknikleri, bir yahut bir çok amacı içeren optimal çözümler sunduğu için planlayıcılar tarafından sık kullanılmaktadır (Başkent, 2004). Optimizasyon disiplininin en belirgin amaçları, maliyeti minimize etmek ve üretilen işi ve verimliliği maksimize etmektir (URL-4, 2008).

Optimizasyon kavramı üç temel bileşenden oluşur (URL-5, 2008):

a- Amaç Fonksiyonu: Minimum ya da maksimum yapılmak istenen süreç olarak tanımlanabilir. Örneğin bir güzergâh seçimi probleminde hem maliyetin ve hem de çevresel zararların minimum olması istenebilir ya da proje verimliliğinin maksimum olması istenirken, maliyetin minimum olması aynı anda talep edilebilir. Bu duruma çoklu amaç fonksiyonu (multiple objective functions) denilir.

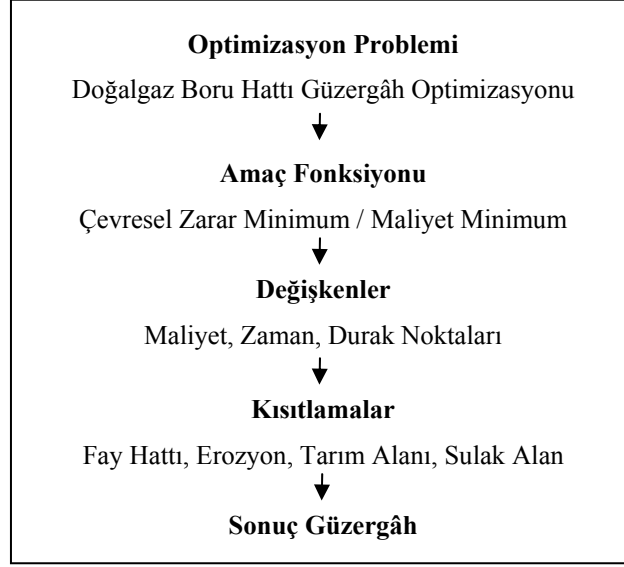
b- Değişkenler/Bilinmeyenler: Amaç fonksiyonun değerini etkileyen faktörler olarak tanımlanabilir. Optimize edilmek istenen amaca, karar değişkenleri olarak adlandırılan etmenler sayesinde ulaşılır. Bu etmenlere atanan değerler uygun belirlenmiş ise amaç setine erişilebilir. Güzergâh seçimi probleminde değişkenler, maliyet, zaman sınırlandırması ya da durak noktaları olabilir.

c- Kısıtlamalar: Amaç fonksiyonunu gerçekleştirmede karşılaşılabilecek zorluklar olarak tanımlanabilir. Bir optimizasyon modelinde sınırlandırma ya da kısıtlama mutlaka olması gereken bir bileşen değildir. Güzergâh seçimi probleminde, deprem fay hatlarından, erozyonlu alanlardan, birinci derece tarım alanlarından ya da sulak alanlardan geçiş kısıtlamaları ya da zorluklar olarak tanımlanabilir.

Bir yüzey üzerinde en uygun güzergâhı bulmak temel konumsal problemlerden biridir. Güzergâh bulma basit bir konumsal problem olarak görülse de temelde amaç fonksiyonu, değişkenleri ve kısıtlamaları belirli olan temel bir optimizasyon işlemidir. Bu bağlamda güzergâh optimizasyonu, güzergâha etki edecek faktörlerin irdelenerek, belirlenmiş amaç fonksiyonu doğrultusunda çeşitli kısıtlamaları da dikkate alarak gerçekleştirilecek karar verme süreci olarak tanımlanabilir. Örneğin bir DGH projesinde belirlenen kriterlere göre güzergâh belirleme işleminde:

Amaç fonksiyonu; maliyetin minimum, çevresel zararların minimum olması,
 Değişkenler; maliyet, zaman ve durak noktaları,
 Kısıtlamalar; fay hatlarından geçiş, erozyonlu alanlardan geçiş, tarım arazilerinden ve sulak alanlardan geçiş olur.

Bu üç bileşen bir arada düşünüldüğünde, güzergâh belirleme işlemi temelde bir optimizasyon probleminin çözümüdür (Nonis vd., 2007) (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. DGİH güzergâh optimizasyonu bileşenleri

1.5.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Veri Modelleri

En düşük maliyetli ya da en optimum güzergâhın belirlenebilmesi farklı disiplinlerin bir araya getirdiği karmaşık yapıdaki konuma dayalı grafik – grafik olmayan verilerin toplanmasını, dijital ortamda depolanmasını, sunulmasını ve analiz edilmesini gerektirmektedir. Büyük veri kitlelerinin bu şekilde analiz edilerek, sonuçların hızlıca alınabilmesi günümüzde CBS teknolojileri ile mümkün olabilmektedir. Yomralıoğlu'na (2000) göre, CBS konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir.

CBS teknolojilerinde son yıllarda yaşanan hızlı gelişmeler ve bu teknolojilerin çok farklı disiplinler tarafından etkin olarak kullanılmaya başlanması, CBS ile ilgili birçok tanımın yapılmasına neden olmuştur. Bu bağlamda CBS ile ilgili çeşitli tanımların

yapıldığı birçok kaynak literatürde mevcuttur (Bolstad, 2005; Tomlinson, 2003; Sommer and Wade, 2006).

CBS'nin temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için en az beş ana unsurun bir arada olması gerekir. Bunlar; donanım, yazılım, veri, insan ve yöntemlerdir (Yomralıoğlu, 2000). CBS'den etkin bir şekilde faydalanabilmek, bu bileşenlerin tamamının organize bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. Bu bileşenler içinde veri, en fazla zamanı ve maliyeti gerektiren bileşendir. Bazı durumlarda veri bileşeni, bütün proje maliyetinin ve zamanının %80'ini oluşturmaktadır (Reis, 2003; Nişancı, 2005).

Coğrafi verilerin bilgisayara aktarılması, işlenmesi ve görüntülenmesi için öncelikle söz konusu verilerin bilgisayarca anlaşılır hale dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm verilerin dijital formata dönüştürülmesi ile mümkündür. Ayrıca dijital formata dönüştürülen verilerin, bilgisayarda gerçek modeli yansıtabilmesi için konumsal veri modellerinden biri tercih edilmeli ve veri yapısı buna göre tasarlanmalıdır (Yomralıoğlu 2000). Gerçek dünyaya ait verilerin işlenmesi ve organize edilmesi sonucu uygun bir dijital veri setine dönüştürülmesi işlemi “veri modelleme” olarak adlandırılır. CBS’de konumsal veri organizasyonlarında raster ve vektör modeller en çok kullanılan modellerdir (Dangermond, 1989; Burrough, 1998).

Vektör Veri Modeli; bilgisayarda kartografik gösterimde ve CBS çalışmalarında da ilk olarak kullanılan modeldir. Harita üzerinden sayısallaştırma ile ya da doğrudan ölçme metotları kullanılarak kolayca elde edilebilir (Reis, 2003). En basit anlamda, gerçek dünyanın nokta, çizgi ve poligon özellikler kullanılarak gösterilmesidir. Yol, parsel ve sınır gibi gösterimi karmaşık olan konumsal özelliklerin gösteriminde daha doğru sonucu verirler (Sommer and Wade, 2006). Vektör veri modeli objeleri tanımlamak için koordinat setlerini ve ilgili öznitelik verilerini kullanır. Objelerin sınırlarını ve konumlarını tanımlayan koordinat grupları ve ilgili öznitelik bilgileri gerçek dünyayı modellemede kullanılacak vektör objeleri oluşturmak için kullanılır (Bolstad, 2005).

Raster Veri Modeli; gerçek dünyayı gösterimde düzgün dağılımlı pikseller kullanır (Longley vd., 2001; Bolstad, 2005). Fotoğraf özelliğine sahip bir gösterim şekli olan raster veri modelinde herhangi bir görüntü bütünü piksel adı verilen seri haldeki kare şeklinde küçük kutucuklardan ya da grid’lerden oluşur. Gridler aynı boyutta olup, farklı renkte olabildikleri gibi, birbirini izleyen herhangi bir rengin tonları şeklinde de olabilir (Yomralıoğlu, 2000). Her bir piksel içinde bulunan bilgi, bilgisayarda belirli kodlarla (sayılar/harfler) kaydedilir. Başka bir deyişle grid ağı, elemanları pikseller olan bir matris

olarak düşünülür. Her bir piksel satır ve sütun numarası ile koordinatlandırılır. Raster gösterimde, farklı özellik gösteren coğrafi varlıklar arasında, vektörel gösterimdeki gibi bir sınır olmayıp, sürekli bir gösterim söz konusudur. Farklı özelliklerin ayrımı, komşu piksellerin farklı renk değerleri veya tonlamasıyla olur. Dolayısıyla her bir piksel taşıdığı özelliği yansıtmak ve diğer özelliklerden ayırt etmek üzere farklı renk koduna sahiptir. Raster gösterimde, hassasiyet piksel boyutuna göre değişen ayırma veya çözünürlük gücü ile ölçülür. Piksellerin arazideki gerçek boyutuna yersel çözünürlük denilmektedir (Yomralıoğlu, 2000).

Vektör veri modelleri, gerçek durumu veri yapısına doğrudan yansıtabildikleri için daha yüksek doğruluk avantajına sahiptir. Geniş hacimli veriler için etkin bir depolama sağlar. Vektör veri modellerinde ağ bağlantıları şeklindeki topolojik yapı açık ve anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmektedir. Coğrafi elementlerin farklı topolojik formasyona sahip olması nedeniyle vektör veri modellerinde simülasyon işlemi zordur. Örneğin topografya gibi sürekli yapıların gösterilmesi vektör veri modelleri için uygun değildir. Raster veri modellerinin veri yapısı oldukça basittir. Bu veri modellerinde uydu veya benzeri görüntülerle haritaların kombinasyonu mümkündür. Piksellerin aynı boyut ve şekilde olması nedeniyle simülasyon işlemi kolayca yapılabilir. Geçmiş yıllarda raster veri modellerinin oluşturduğu bellek sorunu ve kurulumundaki yüksek maliyet gereksinimleri gelişen teknolojiler ile ortadan kaldırılmıştır (Yomralıoğlu, 2000)

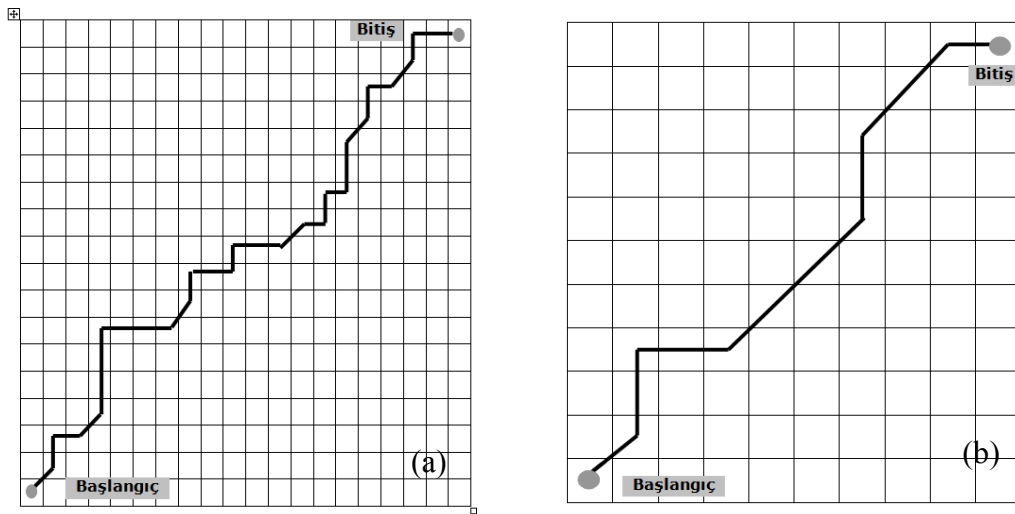
1.5.4. Ağ Analizleri

Euler'in 1736 yılında ortaya attığı "Königsberg Köprüsü" sorusu ağ analizlerinin başlangıcı olarak görülmektedir. Bu soru: "Şehirdeki yedi köprüden sadece bir kez geçerek başlangıç noktasına dönmek mümkün müdür?" şeklindedir. Euler'in bu soruyu çözmek için geliştirdiği yöntemler, "graph teorisi" olarak bilinen kavramın temellerini oluşturmuş ve güzergâh bulma algoritmaları için temel teşkil etmiştir (Husdal, 2001). Günümüzde ağ (network) analizleri; rota planlama, güzergâh bulma, adrese dayalı uygulamalar ve yatırıma yönelik faaliyetlerde kaynak tahsisi gibi çeşitli alanlarda vektör veri modelleri üzerinden sıkça kullanılmaktadır. Ağ analizleri tanımsız yüzeyler üzerinde raster tabanlı olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Yakın geçmişte uygulanmaya başlanan raster ağ analizlerinin temeli, bir yüzeyi oluşturan pikselleri veri tabanında öznitelik bilgileri ile tutan ve bu pikselleri komşuluk-yön ilişkileri ile değerlendiren algoritmalara dayalıdır. Vektör tabanlı

ağ analizleri yol, nehir ya da kanal gibi tanımlı güzergâhlarda, raster modellere göre daha uygun olabilir. Raster ağ analizleri ise tanımlanmış güzergâhlar içermeyen yüzey üzerinde güzergâh bulma ile ilgili problemlerde ve sınırlı öznetelik bilgileri içeren katmanlardan oluşan ağlarda optimum olarak kullanılır. Bu bağlamda yüzey üzerindeki güzergâh bulma problemlerinde raster ağ analizleri vektör ağ analizlerine göre daha uygundur. Çünkü yüzey üzerinde güzergâh bulma düz bir çizgi gibi değil, pikselden piksele bağlantı üzerinden yapılır (Hakbilir, 2004).

CBS yetenekleri ve ağ analizi yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen güzergâh belirleme işleminde, verilerin toplanması için gerekli olan mevcut ölçme yöntemlerinin pahalı olduğu ve uzun zaman gerektirdiği bilinen bir gerçektir. Veriyi daha hızlı ve daha az maliyetle toplayabilmek için UA teknikleri en uygun yöntemdir (Yomralıoğlu, 2000).

Raster veri modellerinde maliyet faktörü veri katmanındaki özelliklere bağlıdır. Veri katmanındaki bilgiler aritmetik işlemlerle birleştirilerek bir maliyet yüzeyi oluşturulur. Bu işlemin amacı, yüzey üzerindeki iki nokta arasındaki en düşük maliyetli güzergâhı bulmaktır. Birbiri ile komşu bütün piksellerin merkezlerinin birbirleri ile bağlanması ile bir ağ yapısı oluşturulur. Daha sonra bu ağ üzerindeki minimum maliyetli güzergâh, kullanılacak uygun bir algoritma ile bulunur. Bu algoritmalar çözünürlüğü düşük (piksel boyutları büyük) seyrek ağ yapıları üzerinde uygulanırsa bulunan güzergâhlar keskin uçlu olabilir (çünkü gerçek güzergâh birbirine komşu piksel merkezleri arasında tanımlanan güzergâh ile çakışmayabilir). Seyrek ağlar üzerindeki maliyet, yoğun bir ağ yapısı üzerindeki maliyete göre daha az hassastır (Şekil 1.5).

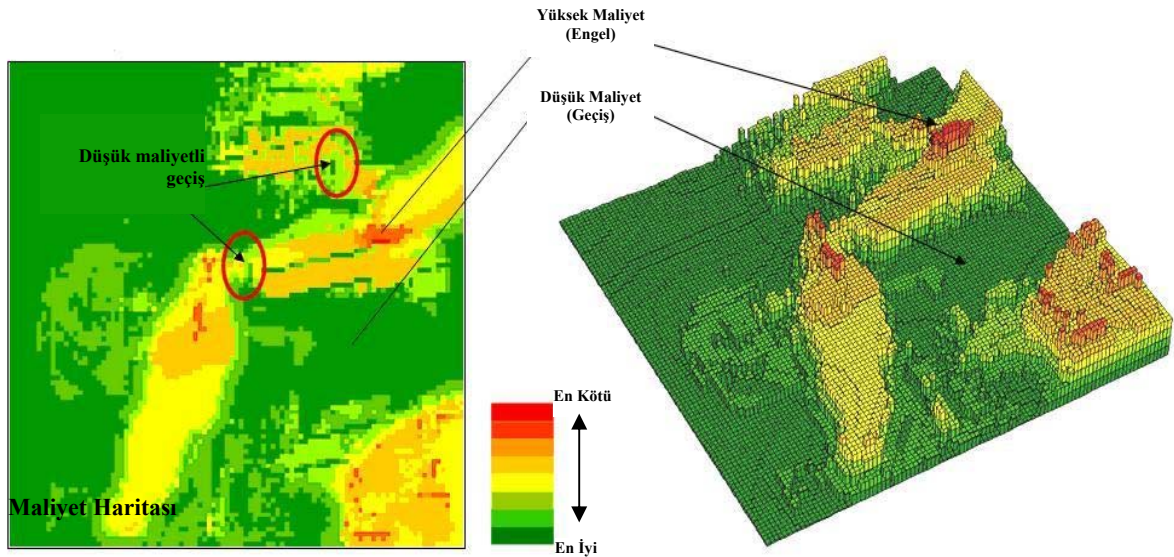


Şekil 1.5. Yoğun (a) ve seyrek (b) ağ yapısında güzergâh gösterimi

1.5.5 Güzergâh Planlamada Raster Ağ Analizleri

1.5.5.1. Raster Ağ Analizi Yöntemi

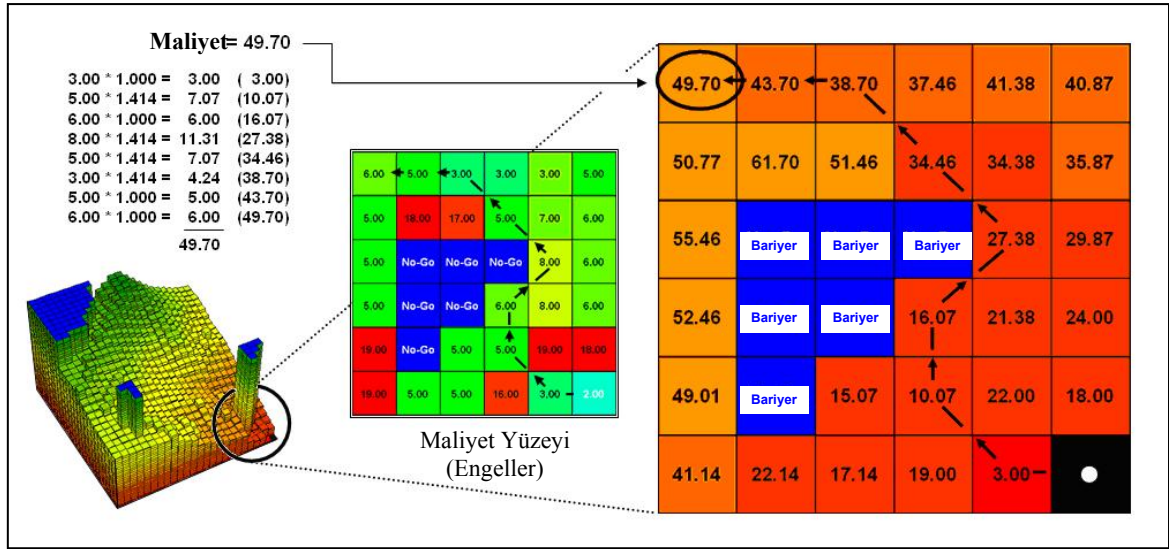
Bir ÇMY için optimum güzergâh, başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki ekonomik, çevresel ve sosyolojik anlamda en düşük maliyetli güzergâhtır. Piksel tabanlı CBS teknikleri, en düşük maliyetli güzergâhın belirlenebilmesi için kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Bu yöntemde temel işlem adımları, faktörler için maliyet katmanlarının oluşturulması, faktör ağırlıklarına göre maliyet katmanlarının aritmetik işlemlerle birleştirilerek toplam maliyet yüzeyinin elde edilmesi ve optimum güzergâhın belirlenmesidir. Bunlara ek olarak alternatif güzergâhlar belirlemek için bir koridor tanımlaması da yapılabilir. Bu süreçte raster veri katmanları oluşturulduktan sonra bu katmanlardaki her piksel için ortak bir ölçekte geçiş değerleri belirlenir. Bu 1’den 9’a kadar verilmiş bir değer olabilir. Bu dizilişte 1 en uygun geçişin sağlandığı en düşük maliyetli değeri, 9 ise en zor geçişin sağlandığı en yüksek maliyetli değeri temsil eder (Şekil 1.6)



Şekil 1.6. Raster ağ analizlerinde maliyet katmanının oluşturulması

Optimum güzergâh bulma işleminde bir sonraki adım, başlangıç noktasından itibaren proje alanındaki diğer her piksele ulaşım için birikmiş en düşük maliyetlerin bulunmasıdır (Şekil 1.17). Bu durum bir dalganın başlangıç noktasından yayılarak ilerlemesine benzetilebilir. Bu aşamada bilgisayar üzerinde uygulanan algoritma, başlangıç

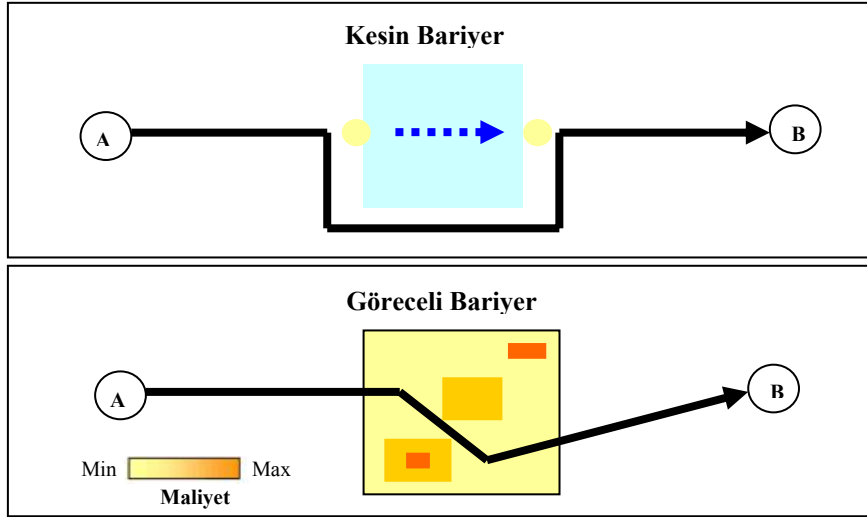
noktasından yayılarak ilerleyen bir dalga şeklinde bütün maliyetleri hesaplar. Örneğin başlangıç pikseli en düşük maliyet değeri olan 1 ise ve bir sonraki piksel de aynı değere sahipse toplam maliyet $1+1=2$ olacaktır. Diğer yandan, eğer ilk iki adım da yüksek maliyetli adımlar ise toplam maliyet $9+9=18$ olur. Toplam maliyet yüzeyi üzerinden, piksellere atanmış değerler dikkate alınarak en optimum güzergâh bulunur (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Maliyet yüzeyi üzerinden güzergâh tespiti

Raster tabanlı ağ analizi yönteminde yüzey üzerindeki maliyet değişimleri bariyer olarak isimlendirilir. Yüzey üzerinde, yüzey direncine bağlı olarak hareket kabiliyeti genelde değişkendir. Yani yüzey üzerinde hareket bazen kolay bazen zor olur. Bazı durumlarda en kısa güzergâh bariyerlerin içinden geçebilir bazen de yön değiştirerek ilerler. Günümüzde CBS yetenekleri bu tür bariyerlerin veritabanları içine yerleştirilmesine olanak sağlar.

Etkileri ile orantılı olarak iki çeşit bariyer tanımlanmıştır: kesin (absolute), göreceli (relative) bariyer (Şekil 1.8). Kesin bariyerler hareketi tamamen sınırlandırır ve ayırdıkları noktalar arasında sonsuz bir mesafe olduğunu ima ederler (Yani iki nokta arasında eğer tam bir bariyer varsa, bu noktalar arasında oluşturulacak en kısa rota sonsuz bir mesafe olarak tanımlanmıştır). Örneğin bir fay hattı ya da aktif erozyon alanları boru hattı güzergâhları için kesin bariyerler olarak tanımlanabilmektedir. Göreceli bariyerler ise geçilebilir engellerdir.



Şekil 1.8. Kesin ve göreceli bariyerler

1.5.5.2. Raster Ağ Analizi Uygulamaları

Doğal kaynakların her geçen gün tükenmesi, küresel ısınma, çevresel sorunlar ve ekonomik kısıtlamalar özellikle büyük çaplı projelerin inşa edilmesinde yeni yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmıştır. ÇMY'ler için güzergâh planlama süreci de, üzerinde birçok araştırmanın ve çalışmanın yapıldığı ve optimum güzergâh seçimi için yeni yöntemlerin geliştirildiği bir uygulama alanıdır. CBS ve ağ analizleri yeteneklerine bağlı olarak geliştirilen bu yeni yöntemlerden biri raster tabanlı ağ analizidir. Özellikle gelişmiş ülkelerde büyük ölçekli ÇMY'lerin güzergâh tespiti çalışmalarında raster tabanlı ağ analizleri etkin olarak kullanılmaktadır (Husdal,2001). ÇMY'ler içinde raster tabanlı ağ analizi kullanılarak yapılan güzergâh tespiti çalışmalarında en yaygın uygulama alanı bulan yapılar boru hattı projeleridir. Çünkü boru hatları özellikle petrol ve doğalgaz gibi çok geniş kullanım alanı bulan enerji kaynaklarını eyaletler, ülkeler ve bazı durumlarda kıtalararası uzaklıklara iletmek için inşa edilmektedirler.

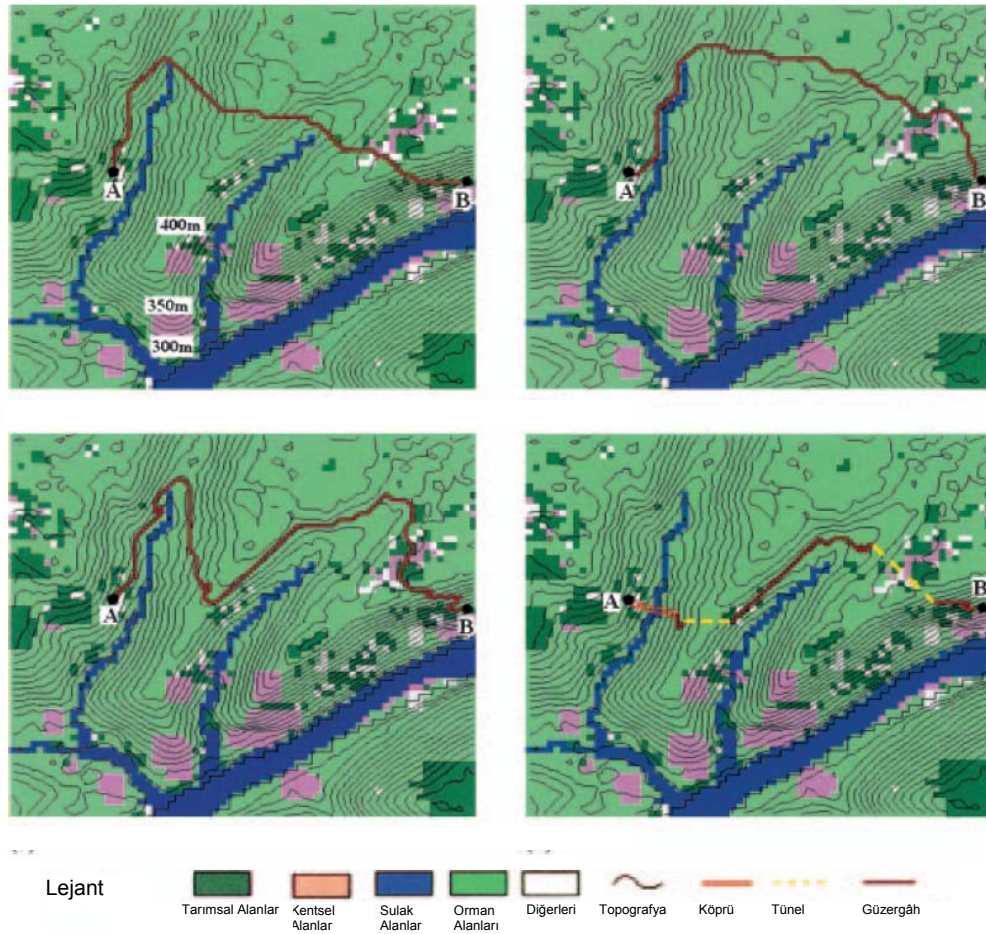
Rosado vd. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, doğalgaz dağıtım ağlarının gelecekte çok daha genişleyeceği varsayımıyla, optimum güzergâh belirlemeye yönelik raster tabanlı bir CBS modeli ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada dikkate alınan faktörler boru hattı uzunluğu, topografya, arazi kullanımı, nehir ve su geçişleridir. Toprak tipine, yüzey eğimine, arazi kullanımına ve mevcut yapılardan geçişlere bağlı maliyetler boru hattının birim uzunluğunun gerçek maliyetlerini yansıtmaktadır. Model üzerinden hesaplanarak elde edilen sonuçlar ve izlenen metodoloji, plancıların ekonomik açıdan

uygun olan koridorun seçmesine yardımcı olmaktadır. Diğer bir çalışmada boru hattı projesinin planlama aktivitelerinden en önemlisinin uygulanabilir bir boru hattı güzergâhının seçilmesi olduğunu belirten Ryan (2001), bu süreçte güzergâha etki eden birçok faktörün değerlendirilmesine ve organize edilmesine yardımcı olacak bir analiz aracı olarak çok yönlü bir güzergâh seçim modeli geliştirmiştir. Daha sonra bu modeli Amerika Birleşik Devletleri'nde su boru hatları ve kanalizasyon hatları için başarıyla uygulamıştır.

Gutierrez ve Rubio (2004) Meksika'nın Yucatan eyaletinde DGİH yapımı için en iyi rotanın belirlenmesine yönelik bir nicel karşılaştırma değerlendirmesi kullanmış ve iki alternatif güzergâhı karşılaştırmıştır. Bu çalışmada temel amaç; boru hatları gibi ÇMY'lerin, insan nüfusu ve doğal kaynaklar üzerindeki etkisini hesaba katarak, arazi kayıplarını minimize etmeye yardımcı olacak bütünlük bir değerlendirme modeli geliştirmektir. Bu modelde, alternatif rotaların ekolojik olarak ve oluşturacakları risk açısından değerlendirilmesi için tarımsal faaliyetler ve topografya faktörleri dikkate alınarak güzergâh tespiti yapılmıştır. Sonuçta mevcut güzergâh 101 km., önerilen güzergâh 72 km. olarak bulunmuştur. Ancak, mevcut güzergâh birçok doğal koruma alanından, tarım alanından, sulak alanlardan ve tropik ormandan geçmekte iken, önerilen güzergâhın ekolojik etkisinin çok daha düşük olduğu, risk seviyesinin daha az olduğu ve maliyetinin de mevcut güzergâha göre daha az olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları Meksika Çevre Bakanlığına sunulmuş ve boru hattı projesi 1997 yılında onaylanmıştır. Diğer bir çalışmada ise Rylsky (2004) tarafından boru hattı güzergâhlarının otomasyonunda teknik ve ekonomik etkinliğin sağlanması amacıyla yeni bir CBS analiz metodu geliştirilmiştir. Bu modelde güzergâh tespiti işlemi mevcut ağırlıklandırılmış yüzey üzerinden güzergâh bulma algoritması kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Raster veri modellerinin bu tür analizler için uygun olduğu bu çalışmada gösterilmiştir. Ayrıca modelde boru hattı güzergâhını etkileyecek faktörler için Rusya'da kullanılan yapım standartları dikkate alınmıştır. Bu standartlar topoğrafya, zemin, drenaj ağı, bitki örtüsü, risk, sosyal ve ekonomik etkenler, koruma alanları gibi doğal ve insani faktörleri içermektedir. Baikal test alanı için uygulanan bu yöntem, geleneksel güzergâh belirleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Raster tabanlı ağ analizi yöntemlerinin bir diğer uygulama alanı da yol projeleridir. Otoyol, karayolu, bisiklet yolu, yürüyüş yolu ya da orman yol ağları gibi projeler için bu tür analizler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Yu vd. (2003) tarafından

karayolu güzergâhlarının optimum tespit edilebilmesi için köprü ve tünel gibi sanat yapılarının yerlerinin de belirlenebileceği yeni bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma gerçek bir uygulama ile test edilmiştir. Bu çalışmada mevcut en düşük maliyetli güzergâh algoritmalarının yol planlaması için çoğu zamanlarda eksik kaldığı belirtilmiş ve buradan yola çıkarak yeni bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma uzaktan algılama ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) verisi ile birlikte JAVA programlama dili ile koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar ışığında, karayolu planlamasında bu algoritmanın en düşük maliyetli güzergâhı belirleyebileceği kanıtlanmıştır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Yol güzergâhının belirlenmesinde algoritmaların etkinliği (Yu vd., 2003)

Diğer bir çalışmada ise Mackenzie ve Walker (2004) bir otoyol güzergâhı seçimini; çevresel, sosyal, ekonomik ve politik açıdan çeşitli faktörleri kapsayan karmaşık bir prosedür olarak tanımlamış ve CBS tabanlı bir güzergâh belirleme modeli geliştirmiştir. Bu modeli kullanarak doğal alanlar, su yolları, taşıma bağlantıları, sosyolojik bilgiler, idari sınırlar ve eğim gibi faktörler üzerinden konumsal analizler yaparak üç farklı alternatif

güzergâh belirlemiştir. Her bir güzergâhın etki değerlerini bir değerlendirme indeksi ile tespit etmiş ve en uygun olan güzergâhı belirlemiştir.

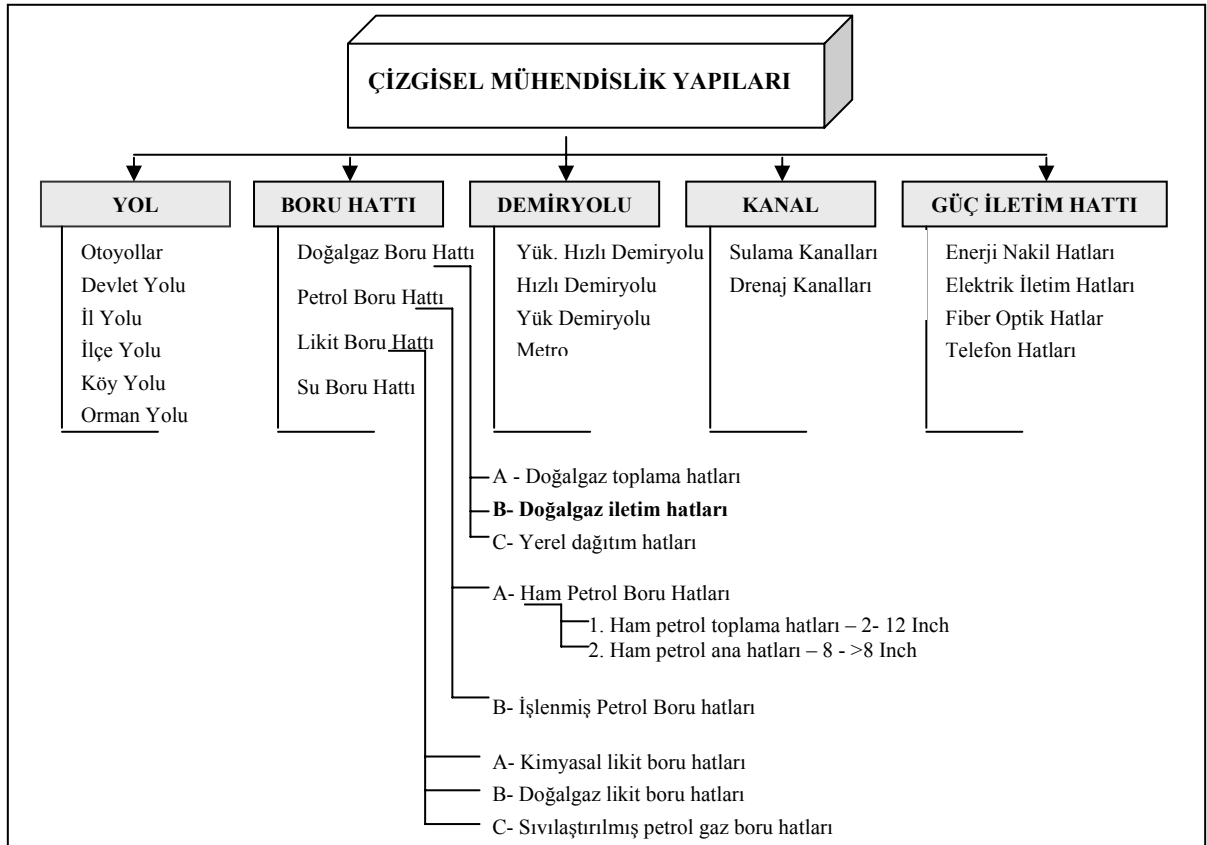
Raster tabanlı ağ analizlerinin bir diğer uygulama alanı da demiryolu güzergâhlarının belirlenmesidir. Demiryolu ağları da petrol boru hatları gibi çok uzun mesafelerde inşa edilebilmektedir. Fakat demiryolu güzergâhını etkileyecek faktörler petrol boru hattı güzergâhını etkileyecek faktörler kadar karmaşık değildir. Darvishefat vd. (2004) demiryolları ile ilgili yaptığı raster tabanlı güzergâh planlama çalışmalarında CBS tabanlı bir güzergâh seçimi modeli geliştirdi. Bu modeli kullanarak Kuzey İran'da bir demiryolu güzergâhını alternatifli olarak tespit etmeye çalıştılar. Güzergâh tespiti işleminde ekonomik, sosyal, çevresel ve teknik faktörlerin geleneksel yöntemlerle irdelenmesinin bu süreci çok daha karmaşık bir yapıya sokabileceğini belirlemişler ve yoğun verileri bir bütün içinde analiz ederek karar vericilere etkin çözüm için olanak sağlayacak bir CBS yöntemi geliştirmişlerdir. Verilerin toplanması için 1/25.000 lik topografik haritalar ve Landsat7 ETM + uydu görüntüsünü kullanmışlardır. Eğim, jeoloji, toprak, arazi örtüsü, nehirler, yollar ve kültürel yapılar vb. olmak üzere demiryolu güzergâhına etki eden bütün faktörleri tanımlayarak dört farklı güzergâh belirlediler. Sonuçlar, CBS kullanılarak oluşturulan güzergâhların, geleneksel yöntemlerle elde edilenlere göre daha çevresel ve daha ekonomik olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın arkasından Ashish ve Dhingra (2005), Ko vd. (2005) ve Smith (2006) demiryolu güzergâh tespitine yönelik CBS tabanlı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Raster tabanlı ağ analizleri ilgili diğer çalışmalarda; Luettinger ve Clark (2005) su kanallarının güzergâh tespitine yönelik CBS tabanlı bir koridor belirleme modeli geliştirmiştir. CBS'nin yoğun miktarda verinin toplanmasına, depolanmasına, her bir alternatif için yorumlanmasına olanak sağladığını ve ağ analizi tekniklerinin hızlı ve doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Cheng ve Chang (2001) ise yer altı güç iletim hatlarının güzergâh tespitinin CBS ile belirlenip belirlenemeyeceğini irdemişlerdir. Bu çalışmada, kent içinde uygun güzergâh için mevcut yol ağı üzerinden vektör ağ analizi yetenekleri kullanılabileceğini, ancak kırsal ya da yapılaşmamış alanlarda raster network analizlerine ihtiyaç duyulacağını belirtmişlerdir. 2002 yılında Warner ve Diab (2002) IDRISI yazılımı ve ÇKKV yöntemi kullanarak 2004 yılında ise Qiu vd. (2004) koridor analizi yaparak enerji nakil hatlarının güzergâh tespitine yönelik CBS tabanlı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

1.5.6. Çizgisel Mühendislik Yapıları

Boru hatları, yollar, demir yolları, sulama/kurutma kanalları, enerji nakil hatları ve yürüyüş yolları gibi altyapı tesisleri çizgisel mühendislik yapıları (Linear Engineering Structures) olarak adlandırılmaktadır (Zhang, 2003; Husdal, 2001; Collischonn ve Pilar, 2000; Smith, 2006; Cheng ve Chang, 2001; Mackenzie ve Walker, 2004; Darvishsefat ve Makhdum, 2004; Saha vd., 2005; Glasgow, 2004) (Şekil 1.10). Bazı kaynaklarda bu tür yapılar çizgisel altyapılar (linear infrastructures) bazı kaynaklarda ise çizgisel yapılar (linear structures) olarak adlandırılmaktadır. Bilimsel kaynaklardaki kullanım sıklığı ve literatürdeki en yakın karşılığı olarak bu tez çalışmasında “çizgisel mühendislik yapıları (ÇMY)” terimi kullanılmıştır. Bütün ÇMY güzergâhları dört işlem adımı sonucunda oluşturulur (Orhan ve Yilmazer, 2006):

- 1- Koridor
- 2- Güzergâh
- 3- Haritalandırma
- 4- İnşaat Hattı



Şekil 1.10. Çizgisel mühendislik yapıları (Miesner and Lefler, 2006; Yayla, 2002)

1.5.6.1. Petrol Boru Hatları

Ham petrol boru hattı; toplama hatları ve ana hatlar olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır. Toplama hatları 2 ile 12 inch'lik borulardan oluşur. Petrol üretiminin yapıldığı alanda tesis edilmiş olan küçük çaplı petrol biriktirme tanklarının oluşturduğu bir bataryadan çıkar ve daha büyük petrol tanklarından oluşan bataryalara (toplama istasyonlarına) petrol taşırlar. Petrol toplama istasyonları birçok kaynaktan gelen ham petrolü biriktirir. Bu istasyonlar ham petrol ana hatlarına yakındır ve ham petrolü ana hatta ileten bir pompalama tesisine sahiptir. Bu istasyonlar ana hattın başlangıcında ya da hat üzerinde bir yerde tesis edilmiştir. Petrol ana hatları genelde 8 inch'lik ya da daha geniş çaplı borulardan oluşmaktadır (Miesner ve Lefler, 2006).

İşlenmiş petrol boru hattı; işlenmiş petrol boru hatları zincirinin başlangıç noktası rafineri terminalleri, bitiş noktası ise ürün terminalleridir. Bu zincir tüketicilere yakın boru hatlarına ait büyük hacimli tankların bir koleksiyonudur. Ürünler boru hatlarında demetler halinde hareket eder. Bazı durumlarda boru hattı içinden gelen bütün ürün tanklara iletilirken, bazı durumlarda da sadece akış hızından kaynaklanan akış rüzgarı tanka iletilir. Buradan perakende satış ya da ticari ve endüstriyel kullanım için rafineri petrol tankerleri ile ilgili yerlere iletilirler (Miesner ve Lefler, 2006).

1.5.6.2. Doğalgaz Boru Hatları

Doğalgaz toplama hatları; üretilen gazı üretim tesislerinden alarak gaz işleme tesislerine iletir. Doğalgazın işleme tesislerinde ayrı bir arıtma sürecine tabi tutulup tutulmayacağı içerdiği kirletici maddelerin oranına bağlıdır. Gaz işleme tesislerinde genel olarak asit-gaz ve sıvılaştırılmış doğalgaz elde edilir. Hidrojen sülfid ve karbondioksit içeren asit-gazlar, hem boru hatları ve hem de tüketiciler için tahrip edici bir potansiyele sahiptirler. Hidrojen sülfid hem zehirli ve hem de kirleticidir. Sıvılaştırılmış doğalgaz ise doğal benzin, bütan, propan ve bazen de etan içerir (Miesner ve Lefler, 2006).

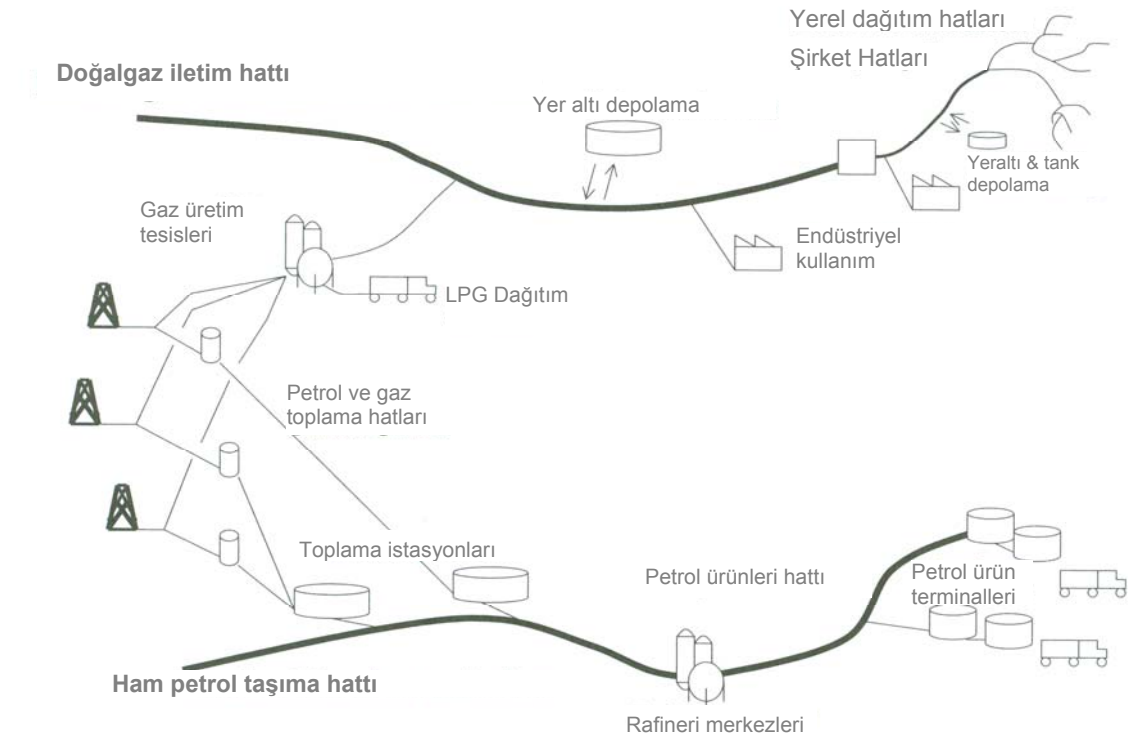
Doğalgaz İletim Hatları (DĞİH); doğalgazı, ticari, endüstriyel ve konut kullanımı için yerel dağıtım şirketlerine taşır (Şekil 1.11). Son zamanlarda artan bir oranda, doğalgaz iletim hatları endüstriyel tesisler, ticari alanlar, işyerleri ve enerji/elektrik üretim birimleri gibi büyük ölçekli son kullanıcılara yerel dağıtım şirketlerini devreden çıkararak erişebilmektedir. Bazı durumlarda, direkt kullanıcılara sunulmak yerine, gelecekteki

kullanımlar için doğalgaz depolanabilir. Bu depolama yer üstü çelik tanklarda, yer altı mağaralarda, deniz ve göl gibi büyük su birikintilerinin altında ya da geniş kumluk alanlarda yapılabilir (Miesner ve Lefler, 2006).



Şekil 1.11. Doğalgaz iletim hattı

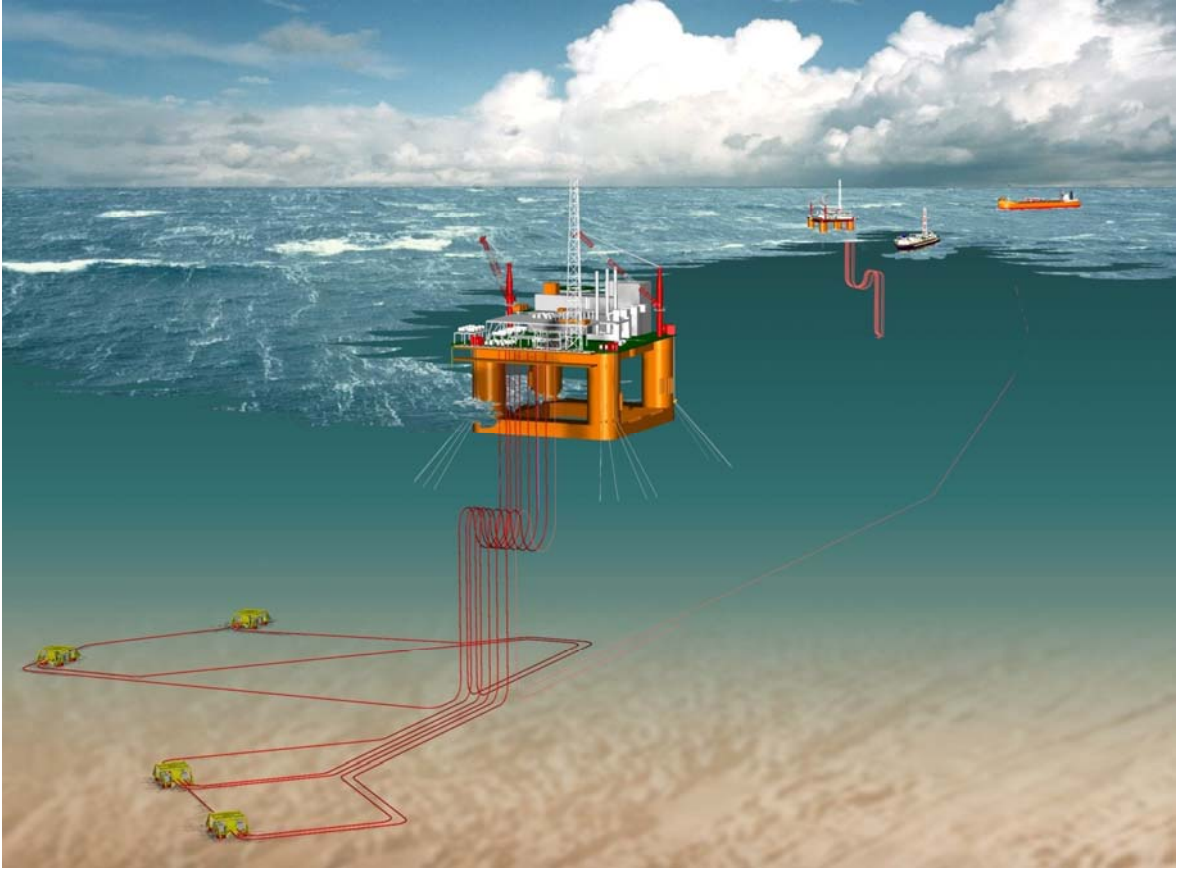
Doğalgaz yerel dağıtım hatları; doğalgaz iletim hatlarından ya da depolama birimlerinden gelen doğalgazı kent içindeki son kullanıcılara ileten hatlardır (Şekil 1.12). Bu aşamada yerel dağıtım şirketleri arz/talep dengesine göre dağıtım ağını şekillendirir.



Şekil 1.12. Petrol boru hatlarının sınıflandırması (Miesner ve Lefler, 2006)

1.5.6.3. Su altı (off-shore / subsea) Boru Hatları

Su altı petrol ve gaz üretim platformlarını karada bulunan ilgili tesislere bağlayan boru hatları off-shore boru hatları olarak isimlendirilir. Bu boru hatlarının inşa edilmesi ve işletilmesi diğer boru hatlarına göre daha karmaşık bir düzeydedir (Şekil 1.13). Mator ve Lee (2008) yaptıkları bir çalışmada CBS yetenekleri kullanarak deniz altı boru hattı güzergâhı seçiminde en düşük maliyetli güzergâhın seçimine yönelik bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada klasik yöntemlerle oluşturulmuş mevcut bir boru hattı güzergâhı ile CBS kabiliyeti kullanılarak oluşturulan güzergâh karşılaştırılmıştır. Boru hattı güzergâhını etkileyen faktörler; deniz tabanı bilgileri, eğim gibi deniz tabanına ait topografik özellikler; mercan kayalıkları, doğal yaşam koruma alanları gibi faktörler ile mevcut boru hattı ve platformlar gibi diğer yapısal aktiviteler olarak sıralanabilir. Bu çalışmada en düşük maliyetli güzergâhın bulunabilmesi için ağırlıklandırılmış maliyet mesafe fonksiyonunu (cost-weighted distance function) kullanan CBS konumsal analiz özellikleri kullanılmıştır.



Şekil 1.13. Off-shore boru hatları

1.6. Güzergâh Belirlemede Kullanılan Yöntemler

Dünyada ÇMY'lerin güzergâh tespitine yönelik yapılan çalışmalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çoklu Kriter Karar Verme (ÇKKV) (*Multi Criteria Decision – MCD*) Yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

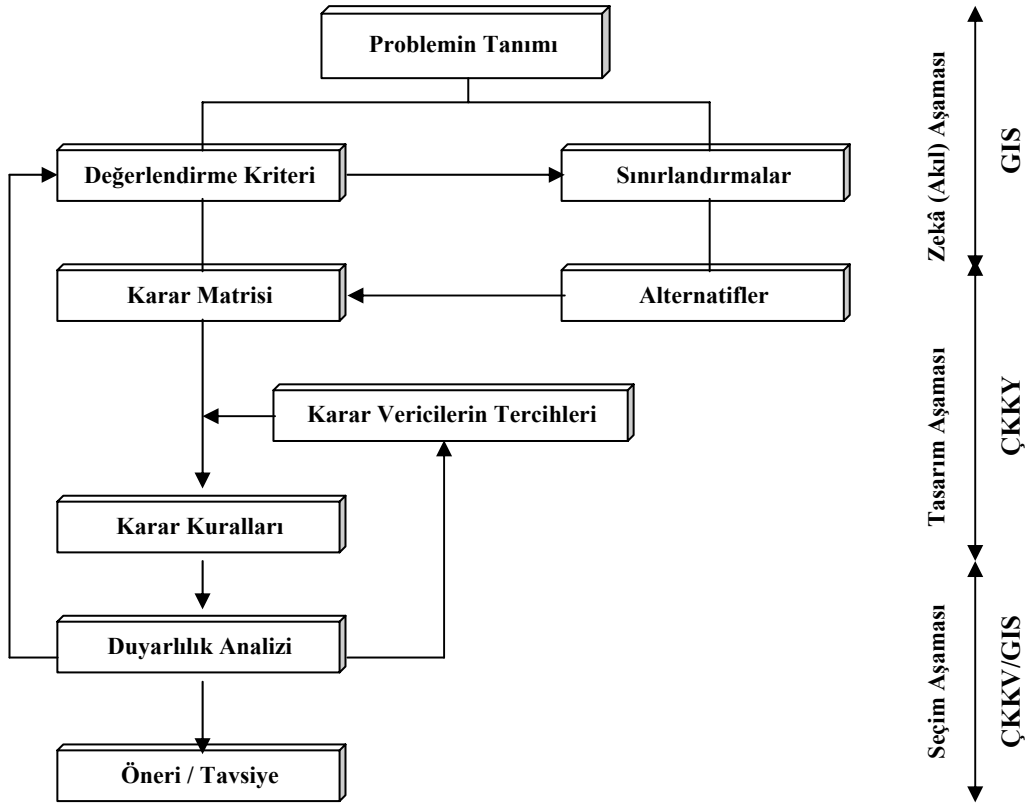
1.6.6.1. Çoklu Kriter Karar Verme Yöntemi

ÇKKV yöntemleri farklı çevresel ve sosyo-ekonomik etkileri barındıran alternatifler arasındaki karmaşıklığın analiz edilmesinde etkileşimli ve esnek bir araçtır. CBS ile ÇKKV tekniklerinin birleştirilmesi, çoklu ve karmaşık yapıya sahip kriter ve nesnelerin çeşitli alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntem, seçilen kriterler (faktörler ve limitler) doğrultusunda alternatiflerin oranlanıp karşılaştırılması suretiyle bilgilerin entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu durum, mekâna ve özniteliğe ilişkin pek çok kriter dolayısıyla aynı anda analize girecek çok sayıda değişkenin koordineli bir şekilde ortak yönetilmesi anlamına gelmektedir (Kesgin ve Ersoy, 2006; Anavberokhai, 2008; Şener, 2004). ÇKKV yöntemi en tercih edilen tek bir seçeneği tanımlamak, seçenekleri sıralamak, bir sonraki detaylı değerlendirme için sınırlı sayıda seçeneği belirlemek ya da kabul edilemeyen olasılıklardan kabul edilebilir olanı ayırmak için kullanılabilir (Şener, 2004).

ÇKKV problemleri genellikle altı bileşenden oluşur:

- Karar vericinin ulaşmak istediği hedef ya da hedefler,
- Karar vericilerin değerlendirme kriteri ile ilgili olarak tercihlerini karar verme sürecine katması,
- Değerlendirme kriterleri (amaçlar ve/veya fiziksel nitelikler),
- Karar alternatifleri,
- Kontrol edilemeyen (bağımsız) değişkenler ya da doğal özellikler (karar ortamı),
- Her bir alternatif nitelik çifti ile ilgili sonuçlar.

Herhangi bir konumsal karar problemi üç temel aşamada şekillendirilebilir: mevcut problemi inceleyen akıl kısmı, alternatiflerin belirlendiği tasarım kısmı ve en iyi alternatifin belirlendiği seçim kısmıdır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Konumsal karar destek analizi kavramsal modeli (Malczewski, 1999).

Çizgisel mühendislik yapıları için yer tespiti ya da güzergâh belirleme çalışmalarında kullanılan en etkin ÇKKV olarak AHY ve bu yöntem içinde de en etkin kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak ikili karşılaştırmalar yöntemi (pairwise comparison method) kullanılmaktadır (Atkinson vd. 2005; Nataraj, 2005; Bery, 2000; Dey and Ramcharan, 2007; Dey, 2002).

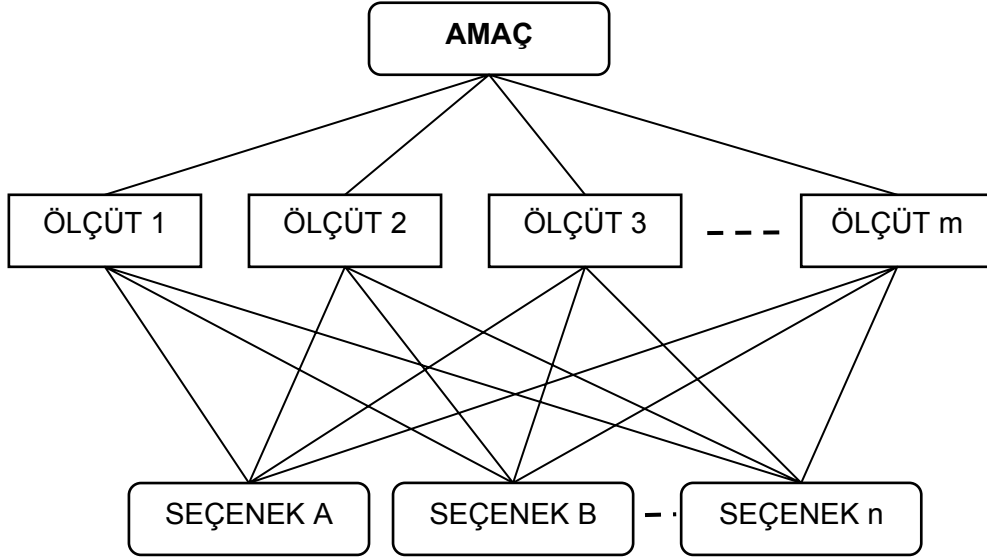
1.6.6.2. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Gruplara ve bireylere, karar verme sürecindeki nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntem bilimdir (Saaty, 1989). AHY her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır. Karışık, anlaşılması güç veya yapılaşmamış sorunlar için genel bir yöntemdir ve üç temel prensip üzerine kurulmuştur:

1. Hiyerarşilerin oluşturulması,
2. Üstünlüklerin belirlenmesi,
3. Mantıksal ve sayısal tutarlılık.

Hiyerarşinin tüm parçaları birbirleri ile ilgilidir ve bir faktördeki değişimin diğer faktörleri nasıl etkilediği kolayca görülebilir. Karar verici bu yöntemle birçok veri türünü bir araya getirilebilir, performans seviyelerindeki farklılıkları birbirine uygun hale getirilebilir ve farklı gözükten nesneler arasında karşılaştırma yapılabilir (URL-6, 2008).

Analitik hiyerarşi modelinde; hiyerarşinin en üstünde bir amaç, bu amacın altında sırasıyla kriterler, alt-kriterler ve seçenekler vardır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Basit bir AHY modeli

Dantas (2001) yılında yaptığı bir çalışmada güzergâh belirleme sürecinde CBS ve AHY entegrasyonunun sağlayacağı faydaları göstermiştir. Çalışmasının sonucunda, bu entegrasyonun coğrafi ve konumsal karakteristikleri bir bütün içinde irdeleyerek karar verme mekanizmasına etkin bir altyapı hazırladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, raster tabanlı modellerin konumsal analizlerde ve AHY içinde kullanılabileceğini de göstermiştir. Oluşturduğu bu modeli Brezilya'nın Sobradinho kentinde uygulamaya aktarmış ve sonuçlarını değerlendirmiştir. Dey (2002) ve (2003) yılında yaptığı çalışmalarda çok uzun mesafelerde inşa edilen boru hatlarının ormanlar, nehirler, yerleşim birimleri, denizler, göller, tepeler ve tarımsal alanlardan birçok kez geçtiği için çevresel anlamda çok hassas yapılar olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle boru hatlarının projelendirilmesi aşamasında teknolojik ya da ekonomik kriterlerin yanısıra çevresel ve sosyolojik kriterlerin de dikkate alınması gerektiğini belirtmiş ayrıca AHY ile bu tür projelerin güzergâhlarının belirlenmesine yönelik bir model geliştirmiştir. Bu model bir boru hattı güzergâhı için

belirlenmiş çeşitli alternatifler arasında teknik, sosyo-ekonomik ve çevresel kriterler gözetilerek en uygununun seçilmesi için bir yöntem sunmaktadır. Dey ve Gupta (2001) kesin şartları, genişleme yeteneği ve boru hattının bütün ömrü süresince ortaya çıkabilecek değişiklikleri bir arada düşünerek seçilen bir optimum boru hattı rotası ile proje fizibilite analizi yapılmasını amaçlamaktadır. Bütün bu faktörler birkaç alternatif rota için (bu rotalar CBS kullanılarak elde edilmiştir) AHY vasıtasıyla nicel olarak analiz edilmiştir. En kısa güzergâh (geleneksel olarak seçilen) ve model üzerinden tespit edilen optimum rota bir maliyet/fayda karşılaştırmasına tabi tutulmuştur. Rowland (2005) yılında yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, petrol ve gaz boru hatlarının en optimum güzergâhının belirlenmesinde ekonomik, politik, teknik çevresel ve fiziksel sınırlandırmaları dikkate alan CBS tabanlı bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada öncelikle ilgili kısıtlamaları dikkate alarak boru hattı güzergâhları belirlemiş, ardından bu alternatifler arasından en optimum olan güzergâhı seçmiştir. Bu aşamada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHY yöntemini kullanmıştır.

1.7. Dünyada Güzergâh Planlama

Ağ analizi, özellikle gelişmiş ülkelerde, güzergâh planlama sürecini içeren değişik uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar ağ analizi kavramının gelecekte önemli uygulama alanları bulacağını göstermektedir. Dünyanın önemli eğitim, bilim ve danışma merkezlerinden biri olan Association for Computing Machinery (ACM), ağ tasarımı konusunu, bir ulusun ekonomik refahını yükseltmesi için en önemli araştırma alanlarından biri olarak göstermiştir (Albert, 2004). Ayrıca, taşıma ağları için geliştirilecek optimizasyon algoritmalarının altyapı çalışmalarının sürdürülebilirliği için anahtar bir görev üstlendiği de belirtilmiştir. Crossland vd.'ne (2005) göre, ağ tasarımı birçok konumsal referanslı karar verme görevinin bir bileşkesidir. Bu görevlerden biri, ağ tasarımı işlemi süresince oluşturulan en düşük maliyetli güzergâhların hesaplanmasıdır. Konumsal olarak referanslandırılmış bir karar görevi için CBS kullanılmasının doğruluk/hassasiyet sağlayacağı ve ekonomik kazançlar oluşturacağı açıktır. CBS kullanarak en düşük maliyetli güzergâhın bulunması için ekonomik kazanım ve güzergâh doğruluğunun sağlanması isteği, CBS tekniklerinin ağ tasarımlarında etkin olarak kullanılmasını sağlamıştır. 1994 yılında Bechtel Corporation ve NASA Hazar Denizinde boru hattı için en düşük maliyetli güzergâhı hesaplamada CBS teknikleri kullanmak suretiyle ortak bir

çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada klasik yöntemlerle hesaplanan çok keskin kırıklı güzergâh, çözülmesi gereken bir problem olarak görülmüş ve çözümler üretilmiştir (Feldman, 1995).

Chaudhri (2006) Cezayir'den İspanya'ya Alboran Denizi üzerinden 2160 m. derinlikte toplam 210 km. uzunluğunda su altı (offshore) DGIH için güzergâh belirleme çalışmalarında kullanılmak üzere CBS tabanlı bir model geliştirdi. Bu model çevresel zararların en aza indirgenmesi, kara ve deniz geçişlerinde flora fauna varlıklarının korunması, güzergâh üzerindeki doğal engellerden kaçınılması, jeolojik ve jeo-teknik risklerin minimize edilmesi ve serbest boşluk risklerinin azaltılması kriterlerine dayalı olarak işlemektedir. Yapılan bu çalışmada klasik güzergâh belirleme yöntemlerinin oluşturabileceği riskler de ayrıca belirtilmiştir.

2006 yılında, Orta Asya'daki doğalgazı Türkiye üzerinden Avrupa'ya iletecek olan ve halen fizibilite çalışmaları yürütülen, NABUCCO DGIH için yapılan bir çalışmada Türkiye-Avrupa geçişi için dört farklı güzergâh tanımlanmış ve en optimum olan güzergâh belirlenmeye çalışılmıştır. Güzergâhların belirlenmesinde AHY yöntemi kullanılmıştır. En etkili güzergâhın A güzergâhı olduğu, aynı ülkeyi kullanan B ve C güzergâhlarının A güzergâhına göre daha fazla çevresel zarar oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 1.16). Çalışmanın sonunda bu tür alternatif güzergâhlar arasından en etkin olanının belirlenmesinde AHY metodunun çok kullanışlı olduğu belirtilmiştir (Thomaidis ve Mavrakakis, 2006).



Şekil 1.16. Kıtalararası DGIH için önerilen bir güzergâh belirleme modeli

1.8.Türkiye’de Güzergâh Planlama

Türkiye, Avrupa ile Orta Asya arasında bir geçiş yolu olması nedeniyle önemli bir konuma sahiptir. Ortadoğu enerji kaynaklarının, Avrupa’dan gelen talep doğrultusunda bu ülkelere iletilmesi gereksinimi, Türkiye’nin jeo-politik önemini daha da arttırmaktadır. Mevcut doğalgaz ve petrol boru hatları ile yapılması planlanan diğer projeler bunun açık bir göstergesidir. Avrupa ve Ortadoğu arasında bir enerji köprüsü olma görevi üstlenen Türkiye’de, özellikle boru hatlarının geçiş güzergâhları için henüz etkin karar destek sistemleri oluşturulamamıştır. Bunun yanı sıra, çizgisel yapıların inşa edildiği altyapı-mühendislik projelerinde de aynı durum söz konusudur. Bu projelerin, ülke ekonomisine getirdiği büyük maliyet ve yapım aşamasında, başlangıcından bitişine kadar geçen sürecin fazla olması nedeniyle stratejik olarak planlanması, değerlendirilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de gerekli verilerin toplanması, yönetilmesi, işlenmesi ve analiz edilmesi sürecini kapsayan uzaktan algılama ve CBS teknolojileri henüz etkin olarak kullanılmamaktadır (Yildirim, 2007).

Türkiye’de çizgisel yapıların güzergâh tespiti işlemleri genelde iki nokta arasındaki düz çizgi üzerinde yapılmaktadır. Genellikle 1/100.000 ölçekli ve 1/25.000 ölçekli topografik haritalar kullanılmakta ve eğim açısından uygun güzergâhlar tespit edilmektedir. Çizgisel yapının inşa edileceği alanda koridor genişliği olarak tanımlanan bölge geniş tutulmakta ve bu bölge içinde mevcut duruma göre kaymalar yapılmaktadır. Önceden tespit edilemeyen engeller (sit alanı, heyelan, flora-fauna vb.) dolayısıyla proje durmakta, yavaşlamakta, keskin dönüşler yapmakta ya da belli bir uzunlukta geri alınmaktadır. Bir çok ÇMY olması gerekenden fazla sayıda akarsu, yol ve demiryolu geçişi yapmakta, bu durum projenin maliyetini, süresini ve işletim masraflarını arttırmaktadır. Önceden tespit edilemeyen heyelan alanlarından geçiş durumunda, koruma yapıları için ek maliyetler ortaya çıkmakta ya da bir heyelan durumunda projenin kullanım faaliyetleri durmaktadır. Özellikle yeraltına inşa edilen çizgisel yapıların kullanım sürelerine etki eden faktörlerin (çürüme ve aşınmaya etki eden yeraltı suları, toprak cinsi, jeolojik yapılar) belirlenememesinden dolayı proje belirlenen işletim süresinden daha önce bakım ve onarıma ihtiyaç duymaktadır (Yildirim ve Yomraliölu, 2007).

Bu sorunların temelinde “veri” problemleri bulunmaktadır. Veri elde edilmesindeki sorunlar, kaliteli veriye erişememe, güncel veri problemleri, veri maliyeti ve veri standartlarında yaşanan problemler, çizgisel yapıların güzergâhlarının optimum tespit

edilememesinin temel nedenidir. UA teknolojileri bu problemlerin önemli bir kısmını çözmekte, maliyeti azalmakta ve veri toplama sürecini hızlandırmaktadır. Çizgisel yapıların uzunluklarından dolayı geniş alanları kapsaması, bu alanlara ait çok çeşitli ve büyük hacimli verilerin birlikte irdelenmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Bu noktada ihtiyaç duyulan CBS teknolojilerinin Türkiye’de çok daha etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda;

- Türkiye’ye doğalgaz girişi olan noktalardan itibaren etkili bir doğalgaz dağıtım ağının oluşturulması,
- Ham petrolün rafineri tesislerine iletilmesi için boru hattı ağının oluşturulması,
- Demiryolu ağının geliştirilmesi ve dışa açılım noktalarının belirlenerek demiryolu güzergâh planlamasının yapılması,
- Sulama ve kurutma kanalları için bütüncül yaklaşımlarla kanal ağlarının etkin bir şekilde planlaması,

CBS teknolojileri ve raster tabanlı ağ analizleri kullanılarak mümkün olabilmektedir. (Yildirim ve Yomralioglu, 2007).

Türkiye’de petrol ve doğalgaz boru hatlarının inşası, işletilmesi ve bakımından sorumlu kuruluş Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ)’tır. BOTAŞ 27 Ağustos 1973 tarihinde, Türkiye Cumhuriyeti ile Irak Cumhuriyeti Hükümetleri arasında imzalanan Ham Petrol Boru Hattı Anlaşması’nın amacı olan Irak ham petrolünün, Ceyhan Terminali’ne taşınmasını gerçekleştirmek üzere 15 Ağustos 1974 tarihinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından kurulmuştur. Türkiye’nin enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi göz önüne alınarak başlangıçta, boru hatları ile petrol taşımacılığı yapan kuruluşun faaliyetleri, 1987 yılından itibaren boru hatları ile doğalgaz taşımacılığı ve doğalgaz ticareti ile genişlemiştir. Ülkemizde boru hatlarından bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) Ham PBH; Temel mühendislik çalışmaları Kasım 2000’de başlatılan boru hattının döşenmesi Temmuz 2005’de tamamlanmıştır. Boru hattının kapasitesi 50 milyon tondur (1 milyon varil/gün). 1768 km. uzunluğundaki boru hattı güzergâhı Azerbaycan’dan başlamakta, Gürcistan üzerinden gelerek Ardahan İlının, Posof İlçesinden Türkiye sınırına girmekte ve buradan Ceyhan’daki terminale ulaşmaktadır. Boru hattının Türkiye sınırı içindeki uzunluğu 1076 km.dir (Şekil 1.17). 750’nin üstünde nehir ve akarsu ile 1000’in üstünde karayolundan geçmekte olan BTC hattı, inşaat çalışmaları sırasında birçok yerde yüksek dağ ve tepelerden geçmiş ve 2800 m.

yüksekliğe kadar çıkmıştır. BTC boru hattı güzergâh seçiminde “Güzergâh Daraltma Yöntemi” uygulanmıştır (Şekil 1.18).



Şekil 1.17. Bakü-Tiflis-Ceyhan PBH

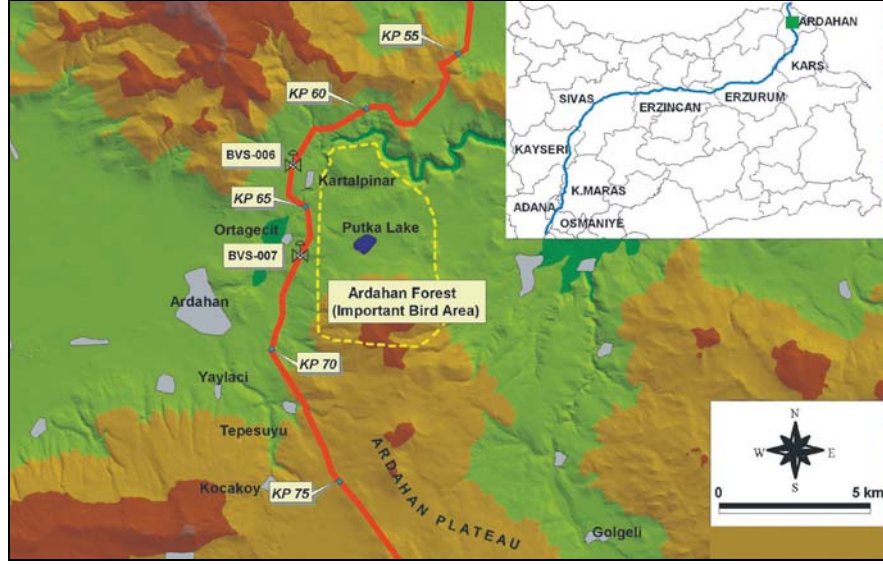


Şekil 1.18. BTC PBH güzergâh belirleme süreci (Yıldız ve Çağlayan, 2002)

Güzergâh daraltma yönteminde, başlangıçta 100 km.lik bir genişlik içerisinde 1:2.000.000 ve 1:500.000 ölçekli topografik haritalar üzerinden potansiyel koridorlar manuel olarak tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise 1:200.000 ölçekli topografik haritalar üzerinden bu koridorlar 20 km. genişliğe kadar daraltılmıştır. Potansiyel koridorların tespit edilmesinde CBS teknolojilerinden kısmen faydalanılmıştır. Bu koridorlar üzerinde koruma alanları, sulak alanlar, ormanlar, sit alanları, sismik risk bölgeleri gibi özellikli alanlar ve temel mühendislik çalışmaları da dikkate alınarak hat genişliği 10 km. ye indirgenerek “ilgilenen koridor” tayin edilmiştir. Tespit edilen bu koridor çevresel durum verileri de göz önünde bulundurularak 500 m. genişliğindeki “tercih edilen güzergâh koridoruna” indirgenmiştir. Bu aşamada topografya, koruma alanları, yerleşim alanları, heyelan bölgeleri, arkeolojik alanlar ve inşa edilebilirlik gibi teknik faktörler irdelenmiştir. Tercih edilen bu koridor önce 100 m. genişliğindeki “belirlenen koridora” ve arkasından 28m. genişliğindeki “inşaat koridoruna” indirgenerek sonuç güzergâh bulunmuştur. Bu aşamada ise jeolojik kısıtlamalar, inşa edilebilirlik unsurları, optimizasyon teknikleri, toplumsal kısıtlamalar, ekolojik denge, arkeolojik kısıtlamalar ve kamulaştırma maliyeti gibi faktörler detaylandırılmıştır (Seyhanlı, 2005). Bu yöntemle belirlenen güzergâhta inşaat aşamasında çok sayıda değişiklik yapılmıştır (Tablo 1.1) (Şekil 1.19).

Tablo 1.1. BTC PBH hattında güzergâh tespiti sorunlarından dolayı meydana gelen değişiklikler

	28 m. lik Koridor Dışına Çıkan Güzergâh Değişimi	100 m. lik Koridor Dışına Çıkan Güzergâh Değişimi	500 m. lik Koridor Dışına Çıkan Güzergâh Değişimi
Arkeoloji	1	34	-
Ekoloji	1	5	1
Sosyolojik	3	7	1
Su Kaynakları	1	14	4
Jeo-Tehlikeler	12	16	11
Ekonomi	-	4	-
Yapım Sorunları	6	7	1
Tasarım	5	6	3
Diğer Mühendislik Sorunları	-	49	1
Toplam Değişiklik	29	142	22



Şekil 1.19. BTC boru hattında Putka Gölü ekolojisi için güzergâh değişikliği

Irak – Türkiye (Kerkük-Yumurtalık) Petrol Boru Hattı; Irak'ın Kerkük ve diğer üretim sahalarından elde edilen ham petrolü Ceyhan (Yumurtalık) Deniz Terminali'ne ulaştırmaktadır. Yıllık taşıma kapasitesi 35 Milyon tondur. 1983 yılında başlayıp 1984 yılında tamamlanan I. Tevsi Projesi ile hattın kapasitesi 46.5 Milyon ton/yıla yükseltilmiştir. I. Boru Hattı'na paralel olan ve 1987 yılında işletmeye alınan II. Boru Hattı ile de yıllık taşıma kapasitesi 70.9 Milyon tona ulaşmıştır.

Samsun-Ceyhan Petrol Boru Hattı; BTC boru hattından sonra, son üç yılda petrol taşıma trafiği %50 artan boğazları by-pass etmek için yapılması planlanan boru hattıdır. Bu hat önemli enerji hatlarının Türkiye üzerinde yoğunlaştırılması ve boğazlarda çevre güvenliğinin sağlanması politikasında yeni bir adım teşkil etmektedir. Bu proje için fizibilite çalışmaları 2002 yılında başlatılmış, yaklaşık maliyeti 1,5 milyar dolar ve inşaat süresi de 2 yıl olarak tespit edilmiştir. Bu boru hattı ile Samsun ile Ceyhan arasındaki 550 kilometrelik boru hattından günlük 1,5 milyon varil petrol taşınması amaçlanmıştır.

Rusya – Türkiye DĞİH; ülkemize Bulgaristan sınırındaki Malkoçlar'dan girmekte ve Hamitabat, Ambarlı, İstanbul, İzmit, Bursa, Eskişehir güzergâhını takip ederek Ankara'ya ulaşmaktadır. 75 bar basınca göre dizayn edilen 842 km. uzunluğundaki bu boru hattı boyunca, Kırklareli, Pendik, Eskişehir, Ambarlı ve Bursa'da kompresör istasyonları, Malkoçlar'da ana ölçüm istasyonu ve pig tesisi bulunmaktadır. Ana kontrol merkezi ise Ankara-Yaprıcık'tadır.

Mavi Akım DGİH; Rusya'dan Türkiye'ye doğalgaz nakletmek için 380 km si Karadeniz altından geçen toplam 1200 km uzunluğunda boru hattıdır. Bu proje Rus Gazprom ve İtalyan ENI ortaklığıyla kurulan Blue Stream Pipeline B.V. tarafından inşa edilmiştir. Gazprom boru hattının Rus topraklarında kalan bölümünün işletmesini üstlenmiş, Türk topraklarında bulunan bölümün işletilmesi ise BOTAŞ tarafından gerçekleştirilmektedir.

Irak – Türkiye DGİH; Irak'ta bulunan doğalgaz sahalarının geliştirilerek, üretilecek olan gazın bir boru hattı ile Türkiye'ye getirilmesi amacı ile geliştirilmiştir. TPAO-TEKFEN-BOTAŞ şirketlerince oluşturulan bir grup tarafından yapılan çalışmalar neticesinde 1996 yılında Ankara'da, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Irak Cumhuriyeti Petrol Bakanlığı arasında imzalanan anlaşmalar ile proje başlatılmıştır. Irak'ın Kuzeydoğusu'nda yer alan doğalgaz sahalarını kapsayan proje, saha geliştirme, üretim, gaz işleme ve boru hattı yapımı işlemlerinden oluşan bütünsel bir projedir. Bu proje ile Irak'ın beş sahasında üretilecek yıllık 10 milyar m³ gazın bir boru hattıyla Türkiye'ye taşınması amaçlanmaktadır.

Azerbaycan – Türkiye (Şah Denizi) DGİH; ile Azerbaycan'da üretilecek olan doğalgazın Gürcistan üzerinden Türkiye'ye taşınması amaçlanmaktadır. Proje kapsamında 12 Mart 2001 tarihinde BOTAŞ ve SOCAR arasında Azerbaycan doğalgazının Türkiye'ye sevkine ilişkin Doğalgaz Alım - Satım Anlaşması imzalanmıştır. 15 yıl süreli Doğalgaz Alım - Satım Anlaşması'nda, alımların 2 milyar m³ ile başlaması 6.6 milyar m³/yıla ulaşması öngörülmektedir. Proje kapsamında inşa edilen ve Gürcistan/Türkiye sınırından Erzurum (Horasan)'a uzanan yaklaşık 225 km'lik hattın yapım çalışmaları tamamlanmıştır.

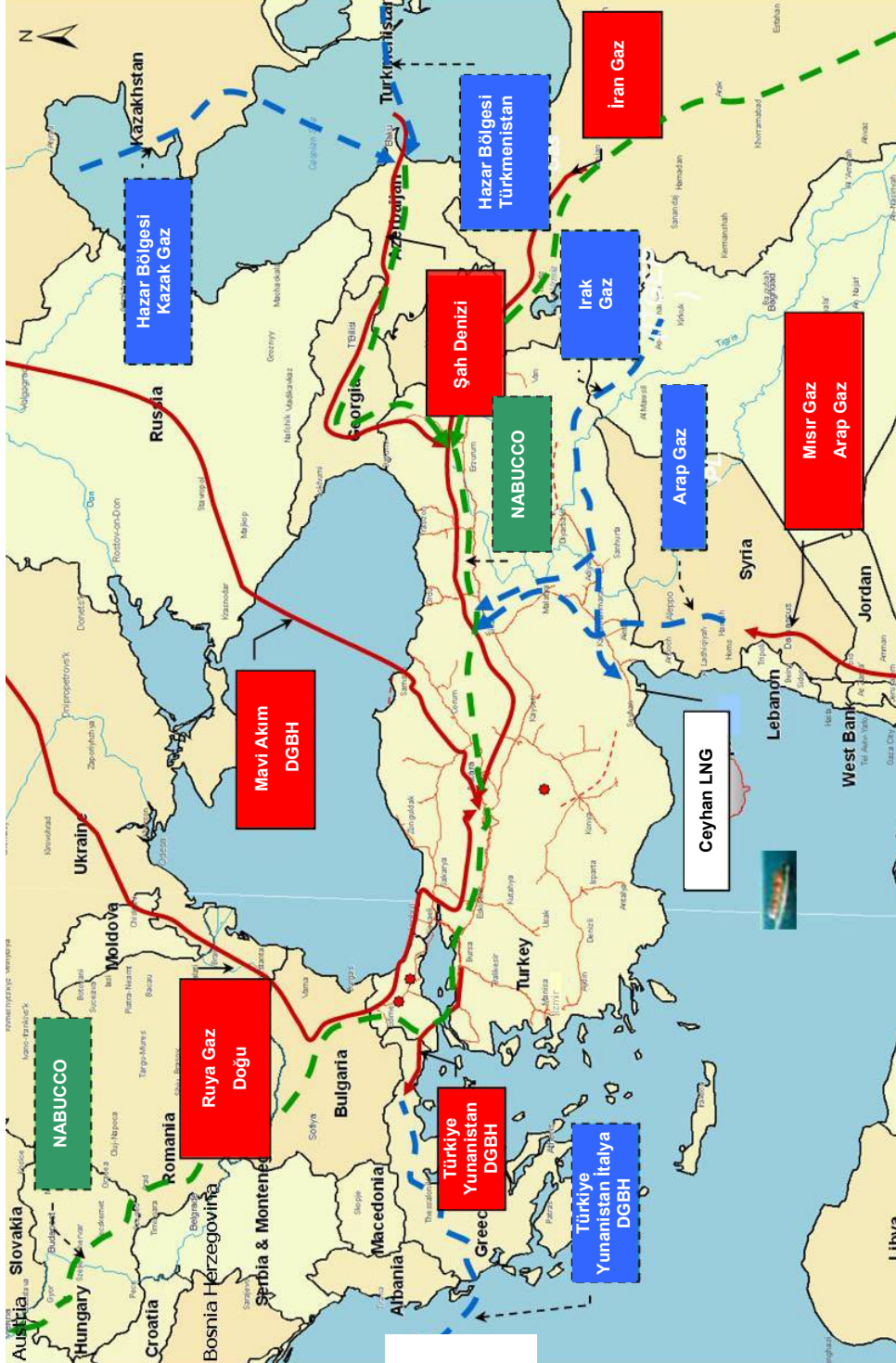
NABUCCO (Türkiye-Bulgaristan-Romanya-Macaristan-Avusturya DGİH); Ortadoğu ve Hazar Bölgesi doğalgaz rezervlerini Avrupa pazarlarına bağlamayı öngören bu iletim hattı ile ilk etapta güzergâh üzerindeki ülkelerin gaz ihtiyacının karşılanması, takip eden yıllarda ise Avusturya'nın Avrupa'da önemli bir doğalgaz dağıtım noktası olma özelliğinden de faydalanılarak diğer ülkelerin gaz taleplerindeki gelişmelere göre Batı Avrupa'ya ulaştırılması amaçlanmaktadır. Yaklaşık uzunluğunun 3.300 km kapasitesinin ise 25,5-31 milyar m³/yıl olması, 2012 yılında ilk kapasite ile devreye alınması planlanmaktadır. Proje çalışmaları Şubat 2002'de BOTAŞ'ın girişimi ve Bulgargaz (Bulgaristan), Transgaz (Romanya) ve OMV Erdgas (Avusturya-Şimdiki OMV Gas) şirketleri ile yaptığı görüşmeler sonucunda oluşturulan çalışma grubu ile başlatılmıştır. Projenin mühendislik çalışmaları aşamasına gelmiş olup Nabucco Projesi'ne ilişkin

olarak yapılması öngörülen anlaşmalar (Ortaklık Anlaşması, Hükümetler arası Anlaşma, İşletme Anlaşması, Ev Sahibi Ülke Anlaşması v.s) ve diğer işler üzerinde çalışmak üzere oluşturulan Hukuk Çalışma Grubu çalışmalarını sürdürmektedir.

Mısır - Türkiye DGIH; doğalgaz arz kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve doğalgaz arz açığının bir kısmının da Mısır'dan sağlanacak gaz ile karşılanması amacıyla amacılıyla geliştirilmiştir. Proje kapsamında 17 Mart 2004 tarihinde Kahire'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı ile Mısır Arap Cumhuriyeti Petrol Bakanı arasında Mısır Doğalgaz Şirketi EGAS ile BOTAŞ arasında Türkiye'ye gaz ithalatı ve Türkiye üzerinden Avrupa'ya gaz iletimi hususlarına ilişkin Çerçeve Anlaşma imzalanmıştır. Söz konusu anlaşma uyarınca, Mısır'ın Türkiye'ye yılda 2-4 Milyar m³; Türkiye üzerinden Avrupa pazarlarına ise yılda 2-6 Milyar m³ gaz ihraç etmesi öngörülmüştür.

Türkiye'deki mevcut petrol ve doğalgaz iletim hatları Şekil 1.20'de, yapılması planlanan ulusal ve uluslar arası petrol ve doğalgaz iletim hatları ise Şekil 1.21'de gösterilmiştir.

PLANLANAN PETROL VE DOĞAL GAZ BORU HATLARI



Şekil 1.2.1. Yapılması hedeflenen petrol ve doğal gaz boru hatları ([URL-2](http://www.enerji.gov.tr), 2008)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Raster Tabanlı Güzergâh Belirleme Algoritmaları ve Karşılaştırılması

Raster ağ analizleri ile ilgili çalışmalar 1970’li yıllarda, ilgili algoritma ve matematik modellerin geliştirilmesi ile başlamıştır. Fakat bu analizler gerçek uygulamalarda 1980 yılından sonra aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Hakbilir, 2004). Bugüne kadar algoritmalar üzerine birçok çalışmanın yapıldığı ve bu bağlamda boşlukların kısmen doldurulduğu gözlemlenmiştir. Raster ağ analizi yöntemi ile güzergâh belirleme süreci genelde petrol iletim boru hatları, doğalgaz boru hatları ve yol projelerinde uygulanmıştır. Bu çalışmaların birçoğunun temel dayanak noktası genel olarak matematik model ya da algoritma geliştirme çalışmalarıdır (Hakbilir, 2004).

CBS’de ağ analizleri; güzergâh planlama, güzergâh bulma, adrese dayalı uygulamalar ve yatırıma yönelik faaliyetlerde kaynak tahsisi gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Bu analizlerin vektör veri modelleri üzerinden gerçekleştirilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağ analizi tekniklerinin, ÇMY’ler için tanımsız yüzeyler üzerinde uygulanma gereksinimi bu analizlerin zaman içinde raster veri modelleri üzerinden gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Son yıllarda yoğun olarak uygulanmaya başlayan bu analizlerin temeli, bir yüzeyi oluşturan pikselleri veri tabanında öznitelik bilgileri ile tutan ve bu pikselleri komşuluk-yön ilişkileri ile değerlendiren algoritmalara dayalıdır. Vektör tabanlı ağ modelleri yol, nehir ya da drenaj kanalları gibi tanımlı güzergâhlarda, raster modellere göre daha uygun olabilir. Raster ağ analizleri ise, tanımlanmış güzergâhlar içermeyen yüzey üzerinde güzergâh bulma ile ilgili problemlerde ve sınırlı sayıda öznitelik bilgisi içeren katmanlardan oluşan ağlarda ve suni yönsel sınırlandırmalarda optimum olarak kullanılır. Raster uygulamalar tanımsız yüzey üzerindeki güzergâh bulma problemlerinde tek çözüm yoludur. Çünkü yüzey üzerinde güzergâh bulma düz bir çizgi gibi değil, pikselden piksele bağlantı üzerinden yapılır (bkz. bölüm 1.5.5.1).

Ağ analizi içindeki güzergâh bulma kavramı, “çizge teorisi” ve birçok uygulama alanı bulan vektör CBS’nin temel taşıdır. Bu algoritmaların raster modeller için uyarlanabilirliği ve raster uygulamalarda yüzey geçişlerinin bir ağ arasındaki parçadan geçişlere göre daha uygun olacağı Euler’in 1736 yılına kadar geri giden sorusunun çözümünden sonra tartışılmaya başlanmıştır (Husdal, 2001). Bugüne kadar raster ağ

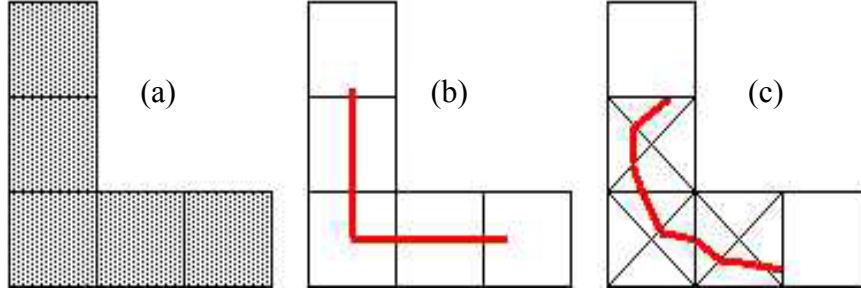
analizleri için çok sayıda algoritma geliştirilmiş olmasına rağmen, en çok kullanılan algoritmalar Dijkstra, 1959; Eastman, 1989; Tomlin, 1990; Douglas, 1994; Xu ve Lathrop, 1995; Collischonn ve Pilar, 2000 ve Berry, 2000'dir. Bu algoritmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

a) Dijkstra (1959); günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip en kısa güzergâh algoritmasını geliştirmiştir. Bu algoritmanın en belirgin özelliği en doğru çözümü vermesidir. İşleyiş prensibinde, başlangıç noktasından itibaren bütün yönler için bir güzergâh hesaplar ve hedef noktaya ulaşıldığında işleme son verir. Bu algoritmadan sonra bazı yeni algoritmalar ve veri yapıları geliştirilmiş olmasına rağmen, Dijkstra Algoritması bugün uluslararası anlamda da geçerliliğini korumaktadır (Karaş, 2007).

b) Ronald Eastman (1989); 512*512 lik bir grid üzerinde, yüzeye ait geçiş maliyetlerini hesaplayabilmek için 700 farklı geçişin irdelenmesi gerektiğini fark etmiştir. Eastman, IDRISI yazılımının bir parçası olarak, "pushbroom" prosedürü adında bir algoritma oluşturmuştur. Bu algoritma piksellere atanan değerleri dikkate alarak sağ üst pikselden sol alt piksele doğru bir yayılma şeklinde bütün piksellere yeni toplam değerler atar ve birikmiş yeni bir yüzey oluşturur. Böylece bütün pikseller güncellenmiş olur ve sonuç güzergâh bu pikseller üzerinden oluşturulur (Eastman, 1989).

c) Tomlin(1990); en uygun güzergâhlar için ağ analizi kavramlarının başlangıç noktasını araştırmış ve elde ettiği sonuçları daha sonra kitap olarak yayınlanan tezinde göstermiştir. Tomlin bu kitabında, bilgisayar algoritmasının işlem yapmak için veri değerlerini nasıl elde ettiğine dayalı olarak, harita cebir işlemcilerini yerel, merkezi ve bölgesel sınıflara ayırmıştır. Daha sonra, yakınlık yüzeylerini hesaplamak için bu sınıflara dayalı olarak bir yayılma algoritması ortaya koymuş ve belirlenen herhangi bir noktadan gidilecek noktaya mümkün olan kısa mesafeyi bulmuştur (Tomlin, 1990; McIlhagga, 1997).

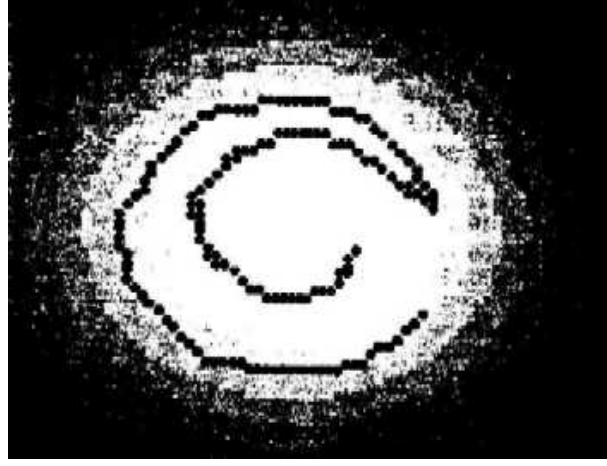
d) Douglas (1994); özellikle büyük piksel boyutlu grid'ler üzerinde ortaya çıkan zig zag'lı yapıdaki güzergâhların sınırlandırmalarını ortadan kaldırmak için bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma güzergâh üzerindeki pikselleri dört adet üçgene ayırmakta ve her bir üçgenin ağırlık merkezlerine bir sürtünme (direnç) değeri atamaktadır. Arkasından enterpolasyon yöntemi ile uygun geçişli üçgenler üzerinden güzergâhı oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Douglas'ın bu metodu, Tomlin'in yönteminden daha açık ve daha doğru bir ifade biçimi olarak gösterilmektedir (Douglas, 1994).



Şekil 2.1. Raster piksellerden çizgi özelliklere geçiş, (a-komşu pikseller, b-Tomlin'in algoritması, c- Douglas'in algoritması).

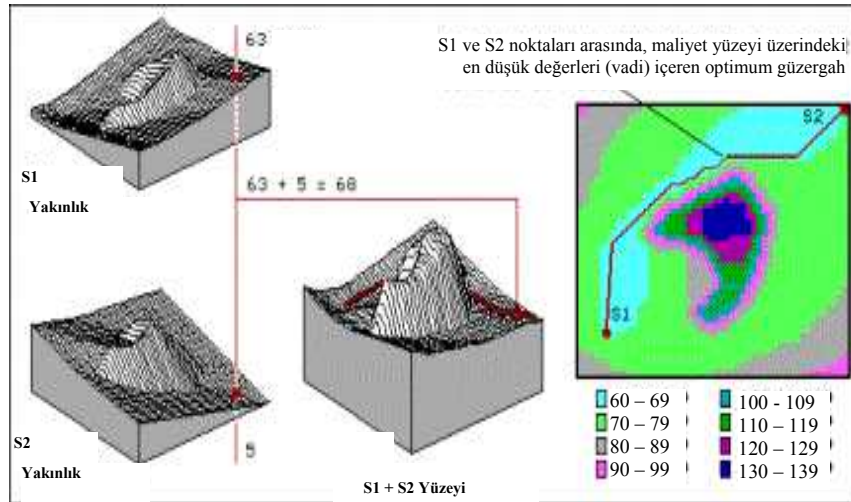
e) Xu ve Lathrop (1995); geleneksel olarak kullanılan sekiz pikseli komşuluk yaklaşımının, yayılma şeklini eksik modellediğini ve bu durumun dışa yayılmada mesafenin eksik tahmin edilmesine yol açtığını göstermiştir. Bu süreç güzergâh maliyetinin fazla çıkmasına neden olmakta ve “zigzaglı” güzergâhlar oluşturmaktadır. Xu ve Lathrop bu tür olumsuzlukları ortadan kaldırmak için geleneksel sekiz komşu pikselin yanında ek pikseller eklemenin bir fayda sağlayıp sağlamadığını araştırmıştır. Geliştirdikleri matematik model, piksele komşu diğer sekiz pikselin dışında diğer bağlantılı pikselleri de irdelemektedir. Bu pikseller yayılma piksellerine bitişik olmamasına rağmen, içindeki ve arasındaki piksellerle bağlantılı olarak hesaba katılabilmektedir (Xu ve Lathrop, 1995).

f) Collischonn ve Pilar (2000); mevcut birçok algorithmada güzergâhın sadece bir maliyet yüzeyinde yukarıdan aşağıya doğru oluşturulduğunu ve bunun yanlış bir yaklaşım olduğunu iddia etmiştir. Bu bağlamda en optimum güzergâhın, toplam sürtünme değeri en düşük olan pikselleri takip ederek oluşturulabileceği yaklaşımını ortaya atmış ve bunu modellemiştir. Bu algoritma, yol ve kanal planlamasındaki geleneksel tekniklerle de uyusmaktadır. Collischonn ve Pilar'ın algoritması, merkez piksel civarındaki 3*3 lük bir penceredeki pikseller için toplam maliyeti belirlemede maliyet-eğim fonksiyonunu kullanmaktadır. Bir eğim yukarıya veya aşağıya ne kadar dik olursa, maliyet o kadar fazla olacaktır. Bu durum yönün eğim bakımından çok az değişerek ya da hiç değişmeyerek devam etmesini sağlayacaktır. Bu kavramın sonucu olarak, gerçek dünya da bir yokuştan yukarı veya aşağı doğru giden en düşük maliyetli güzergâh, bu algoritma ile üretilen modelde en dik güzergâhı izleyen düz bir çizgi olmayacaktır (Şekil 2.2).



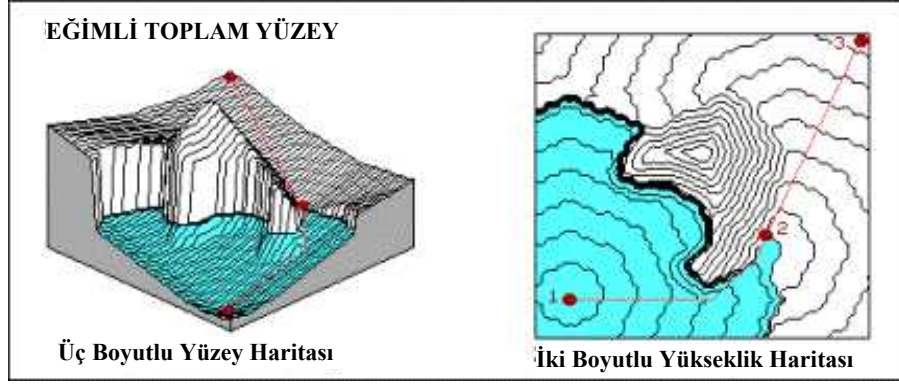
Şekil 2.2. Dik bir dağın zirvesine doğru giden yola ait optimum güzergâh (Collischonn and Pilar, 2000).

g) Berry (2000); Tomlin'in algoritmasına benzer bir yaklaşım sunmaktadır. Algoritmasını bir "yayılma algoritması" (spread algorithm) olarak değil, bir "sıçrama algoritması" (splash algorithm) olarak adlandırmaktadır. Bu algoritma, kaynak piksele komşu sekiz piksele doğru olan hareketi irdeler. Sekiz potansiyel hareket adımının her biri için birikmiş mesafe ve rölatif direnç değerlendirilir ve en düşük maliyetli geçiş, hareket yönünü belirler. Aynı amacı gözetmelerine rağmen Berry'nin harita operatörleri Tomlin'den farklıdır. Berry, iki nokta arasındaki en uygun güzergâhı bulmak amacıyla, iki nokta için birikmiş yüzeyin oluşturulmasını ve onların birbirine eklenmesini önermektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Berry algoritmasına göre optimum güzergâh işlemi

Berry ayrıca, “steeped accumulation surface” (eğimli toplam yüzey) diye adlandırdığı yöntemi kullanarak, çoklu hedefler arasındaki güzergâhı bulmak için bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde, ilk olarak birinci noktayla ikincisi arasında optimum güzergâh oluşturulur. Daha sonra ikinci noktayla üçüncü nokta arasında güzergâh oluşturulur ve bu döngü güzergâha ait nokta sayısı kadar devam ettirilir (Şekil 2.4). Fakat, bu yöntem güzergâha ait noktalar arasındaki en uygun sırayı hesaplamaz, noktalar verilen sırada geçilir.



Şekil 2.4. “Steeped accumulation surface” yöntemini kullanarak birden fazla hedef arasındaki optimum güzergâhın belirlenmesi (Berry, 2000).

2.1.1 Algoritmaların İrdelenmesi

Dijkstra algoritması; yoğun ağ yapıları üzerinde güzergâh bulma uygulamalarında optimum sonuç verir. Alan üzerinde başlangıç noktasından itibaren bütün yönler akış sağladığı için gereksiz büyük alanlarda da tarama yapmaktadır. Buna rağmen günümüzde en geçerli algoritmadır. Diğer algoritmalar yoğun ağlarda bilgisayar çalışma zamanı açısından problemler çıkardığı için sadece seyrek yapılar için uygundur. Seyrek ağlar üzerindeki güzergâhlar ise keskin çıkıntılara sahiptir. Eğer sadece uyumlu pikseller arasında (4 ya da 8) bağlantı varsa çizgiler 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 ve 315 derecelik açılar yaparlar. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu algoritmalarda en önemli sorun, çözünürlüğü yüksek gridler üzerinde, geniş alanlarda ve yüksek maliyetli güzergâhlarda hesaplatma yaparken “run-time error” (zaman aşımı) hataları vermeleridir (Albert, 2004).

Yaygın olarak kullanılan bu beş algoritma aynı temel prensip üzerine inşa edilmiş olmasına rağmen, aralarında sadece yaklaşım ve metot farklılıkları vardır. Xu ve Lathrop,

Tomlin'in bir yayılma merkezi etrafındaki sekizgen çizgilerini daha düz yapmak için uğraşmışlardır, Tomlin'in spread algoritması, Berry'nin splash algoritması ile benzerdir. Douglas ise grid yapısından kaynaklanan zigzag'lı bir güzergâhı entepole ederek piksel boyutlarından kaynaklanacak hataları gidermeye çalışmıştır. Xu ve Lahrop algoritması da temelde Tomlin'in spread algoritması ile benzerdir. Eastman'ın algoritması birçok algoritma gibi dalga yayılma prosedürü kullanır. Collishonn ve Pilar en dik eğimli güzergâh akışı kavramını en düşük maliyetli güzergâhtan ayırmaya çalışmıştır. Ama bu algoritma temelde bir Dijkstra algoritmasıdır. Berry ise birikmiş maliyet yüzeyi üzerinden en optimum güzergâhı belirlemeye çalışmış, ama doğru sonuçlar sunmadığı için temel algoritması olan MapCals yazılımı da bugün ticari faaliyetlerini sürdürememiştir.

Mevcut algoritmaların hiçbiri ağ tasarımı için yüzeye dayalı gerçek özellikleri dikkate almamıştır. Coğrafik veriyi işlemekle ilgili yüksek maliyetler ve algoritmanın donanım üzerindeki çalışma zamanı, bu verinin planlama ve tasarım algoritmaları içine direkt entegre olmasını engellemiştir (Albert, 2004).

2.1.2. CBS ile Uyumlu Raster Ağ Analizi Algoritmalarının Belirlenmesi

Ağ planlamasında ya da güzergâh belirlemede CBS kullanımı çok hızlı bir şekilde gelişmektedir. İlk CBS 1960'lı yıllarda geliştirilmiş olmasına rağmen o yıllarda gösterim ve hafıza ile ilgili gereksinimler bu sistemlerin kullanımını sınırlandırmış, geliştirilen algoritmalar bu sistemlere göre tasarlanmıştır. 1980'li yıllardaki micro bilgisayar devrimi CBS'nin birçok kullanıcı için olanaklı hale gelmesini sağlamış, ama mevcut güzergâh planlama algoritmaları bu donanımlara uyarlanamamıştır (Albert, 2004). Raster ağ analizi yetenekli CBS yazılımlarının kullandıkları algoritmalar Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Feldman vd. (1995) bir boru hattı için yapım maliyetini etki eden uzunluk, eğim, arazi örtüsü, kentleşme ve akarsu geçişleri gibi faktörleri tanımlayarak CBS tabanlı bir güzergâh belirleme modeli geliştirmiştir.

Wagner (1997) raster CBS'de minimum maliyetli güzergâhları bulmada problem kaynağı olarak 4 ya da 8 uyumlu pikselden oluşan seyrek ağları göstermişlerdir. Araştırdıkları temel problem keskin dönüşlü ya da zig-zag'lı güzergâhlar olmuştur. Ağ üzerinde 16 yöne doğru yayılmayla tahmini maliyet değerlerinin elde edilebileceğini kanıtlamışlardır. Yaptıkları uygulamada, 8 yönlü ağ üzerinde tahmini maliyet değerinin

gerçek değerin 1.079 katı; 16 yönlü ağda ise tahmini maliyet değerinin gerçek değerin 1.027 katı olduğunu göstermiştir.

Yu vd. (2003) yol güzergâhlarını belirleyebilmek için bir arayüz geliştirmiştir. Bu model içinde kullanılan güzergâh bulma algoritmasında, yol üzerindeki köprü ve tüneller için uygun yerler belirlenebilmektedir. Bu algoritma yol güzergâhlarının belirlenmesinde günümüzde etkin olarak kullanılmaktadır.

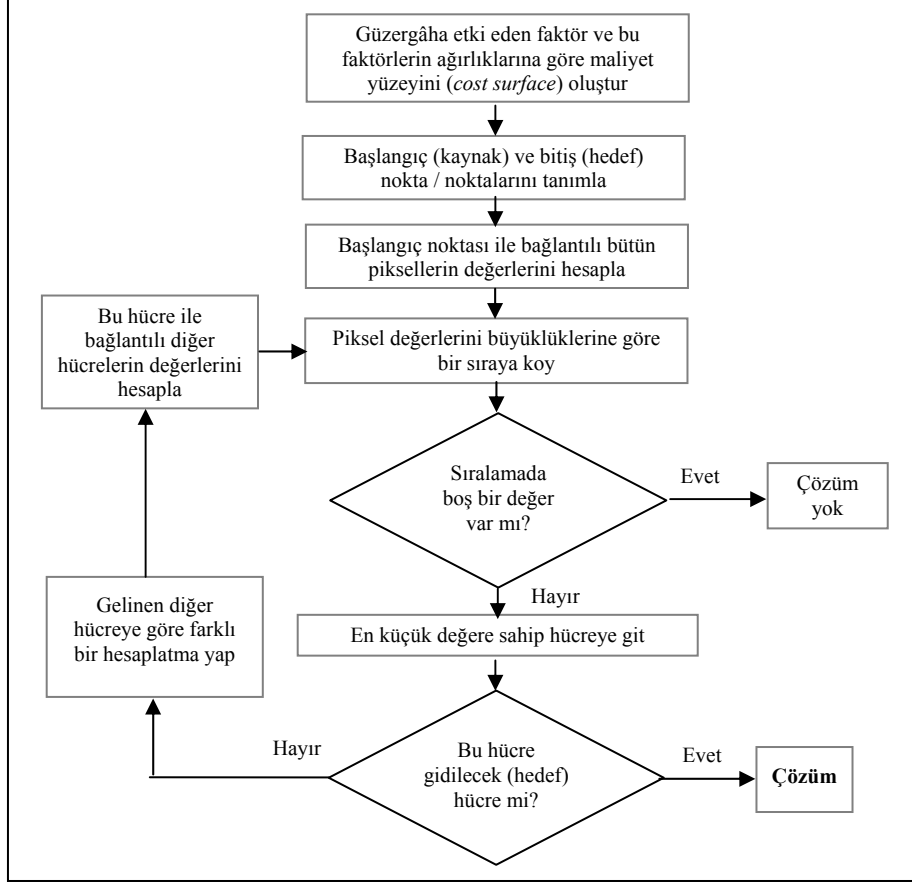
Tablo 2.1. CBS yazılımlarının kullandığı güzergâh bulma algoritmalarının karşılaştırılması

Algoritma Adı	Bulan Kişi, Tarihi	Yazılım, Firma	Fonksiyon	Avantajları	Dezavantajları
Cost Distance (Dijkstra Algorithm)	Edsger Wybe Dijkstra, 1959	ARCGIS, Esri	shortest path	Dünya da en yaygın kullanılan algoritmadır. Birçok türevi vardır. Piksel yada düğüm noktaları için sezgisel veri kullanır. Yoğun ağ yapıları üzerinde etkin kullanılır. Günümüzde kullanılan en geçerli algoritmadır.	Yoğun hesaplamalar için uzun süre gerektirir. Ara işlemler için büyük hafızalar gerektirir. Başlangıçtan bütün yönler akış sağladığı için gereksiz büyük alanlarda tarama yapar. Çok küçük piksel boyutu kullanılan bazı durumlarda run time error hatası vermektedir.
Map Algebra	C. Dana Tomlin, 1990	MFWORKS, Thinkspace	shortest path	Seyrek ağ yapısında etkilidir.	Keskin kırıklar oluşturur. Geniş alanlarda önerilmez. Çalışma bölgesi küçük olmalıdır.
Pushbroom Procedure	Ronald Eastman, 1987	IDRISI, Clark Labs	pathway	Diğer algoritmalarla göre çok hızlıdır. Piksel taramalarında mantıksal bir uyum sunar. Bellek sorunu olduğu durumlarda da büyük alanlar için uygulanabilir.	Karmaşık güzergâh belirleme problemlerinin çözümünde etkili sonuç vermez.
Shortest Path Algoritim	Xu and Lathrop, 1982	GRASS, Cerll	r.spread path	3*3 piksel penceresinin ortaya çıkardığı keskin kırıklı zig-zag güzergâhı yumuşatır.	3*3 piksel matrisleri ile sınırlıdır.
Splash Algorithm	Joseph,K. Berry, 2000	MAPCALC, Red Hen Systems	Kullanılmamaktadır		

2.1.3. ArcGIS Maliyetli Mesafe (Cost Distance) Algoritması

Tez çalışmasının uygulama aşamasında ve arayüz tasarımında raster ağ analizi yeteneği bulunan ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. ArcGIS yazılımının Dijkstra algoritması

ile uyum gösteren cost distance algoritması hakkında kısa bilgi vermek gerekmektedir. Şekil 2.5’de algoritmanın çalışma prensibi görülmektedir.

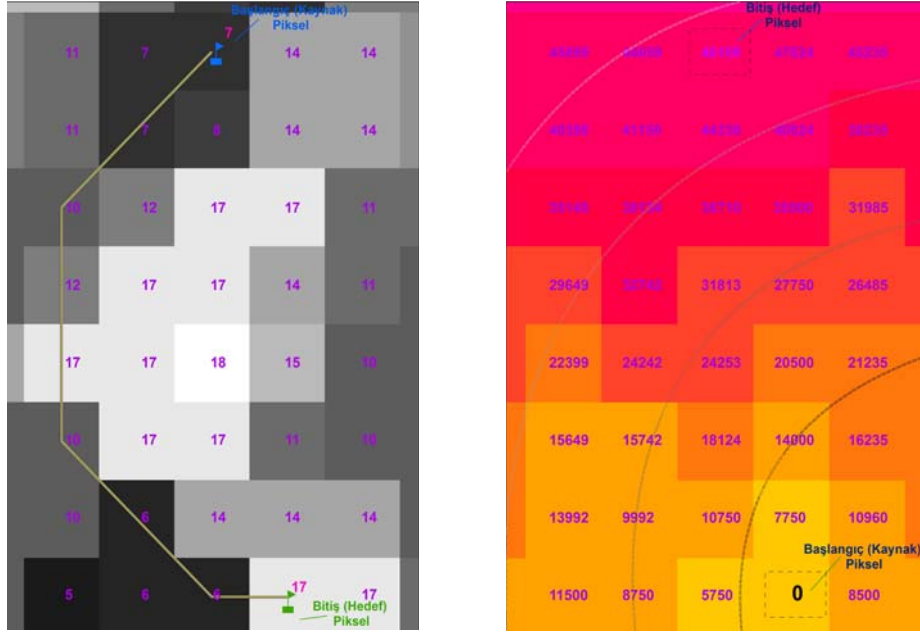


Şekil 2.5. “Costdistance” algoritmasının çalışma prensibi

Raster formattaki coğrafi veri katmanları matematiksel işleme tabi tutulup ağırlıklandırılmış maliyet yüzeyi oluşturulur. Bu yüzey üzerinde kaynak ve hedef noktaları arasındaki optimum güzergâhı bulmak için aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilir (Bu açıklamada piksel boyutu 500 m. olarak alınmıştır):

a) Yüzey üzerinde her bir pikselin ağırlıklarının gösterildiği maliyet yüzeyinin oluşturulması: “Cost distance” algoritmasında ilk olarak güzergâha etki edecek bütün faktörler için, raster formatında ayrı veri katmanları oluşturulur. Bu veri katmanlarında her bir pikselin değeri o veri için geçiş zorluğu değerini göstermektedir (örneğin eğim katmanında piksel değeri “1” olanlar eğimi az olan alanları, piksel değeri “9” olanlar ise eğimi çok yüksek olan alanları göstermektedir). Bütün veri katmanlarının güzergâha etki etme oranları bir ağırlık değeri ile ifade edilir ve bu değerler dikkate alınarak raster tabanlı

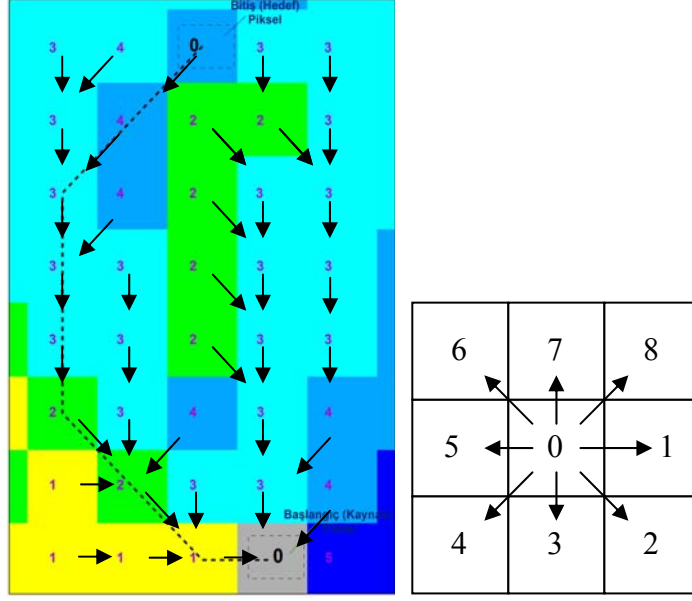
bir aritmetik işlem gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda maliyet yüzeyi oluşturulur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Maliyet yüzeyi ve birikmiş maliyet değerleri

b) Başlangıç noktasından itibaren bütün pikseller için birikmiş toplam maliyet değerlerinin oluşturulması: Maliyet yüzeyi üzerinde başlangıç ve bitiş noktaları tanımlanır. Başlangıç ve bitiş piksellerinin değerleri başlangıçta “0” olarak atanır. İlk irdelemede bu piksellere komşu piksellerin değerleri hesaplatılır ve büyüklüklerine göre bir sıraya koyulur. İkinci irdelemede değeri en küçük olan piksele geçilir ve bu piksele komşu olan piksellere ait değerler hesaplatılır. Bu süreç yüzey üzerindeki bütün piksellerin değeri hesaplanana kadar devam ettirilir. Bu sırada değeri önceden hesaplanmış bir pikselin değeri tekrardan hesaplatılabilir. Bu durumda, irdelemeler sonucu elde edilen en küçük değer piksele atanır. Bu şekilde her bir pikselin birikmiş maliyet değerleri bulunmuş olur (Şekil 2.7).

c) Birikmiş toplam maliyet değerlerine göre başlangıç noktasından hedef noktasına olan güzergâhın tespit edilmesi: Son aşamada ise piksellerin ağırlık değerlerine göre, pikseller arası geçiş yönünün belirlendiği yön katmanı oluşturulur. Yön katmanının oluşturulmasında sekiz farklı yön için değerler belirlenmiştir. Örneğin bir pikselden diğerine geçişte sağ-üst yönü kullanılacaksa “8” değeri, sol yön kullanılacaksa “5” değeri atanır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Güzergâh geçişini gösteren yön katmanı

2.2. Raster CBS Tabanlı Güzergâh Planlama Modelinin Geliştirilmesi

2.2.1 Model Gereksinimi ve İhtiyaç Analizleri

Türkiye’de boru hattı, yol, enerji nakil hattı vb. altyapı hizmetlerinin birbirlerini tamamlayıcı bir yapı içerisinde inşa edilebilmesi için işlevsel bir yönetim planı henüz geliştirilememiştir (WORLDBANK,2003). Kurum ve kuruluşların taşıma gereksinimlerini yerinde, zamanında, ekonomik ve en güvenli biçimde karşılayabilmesi için bütüncül yaklaşımlara gereksinim vardır. Mevcut durumda çizgisel altyapı projelerinin birçoğunda, özellikle petrol ve doğalgaz boru hattı projelerinde plansız, birbirinden bağımsız, kısa vadeli çözümler geliştirilmektedir. Yeni boru hattı yatırımlarının başta DĞİH yatırımları olmak üzere, bir enerji planı ile ilişkilendirilmek suretiyle programlanması da bugüne kadar sağlanamamıştır. Bu nedenle, DĞİH yatırımlarının, doğalgazın Türkiye genel enerji dengesi içindeki yerini uzun vadeli olarak belirleyecek kapsamlı bir çalışmaya dayandırılması ilkesi de bugüne kadar uygulanamamıştır (WORLDBANK,2003).

Türkiye’de ÇMY projeleri yapan ya da yaptıran kurumlar ile gerçekleştirilen mülakatlarda güzergâh belirleme sürecinin bir otomasyon içinde düzenlenmesine gereksinim olup olmadığı irdelenmiş ve sonuçlar Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. CBS tabanlı güzergâh planlama modeli için ihtiyaç analizi

Bakanlık	Kurum Adı	Güzergâh Belirleme Yöntemi	Güzergâh Tespiti	Mevzuat	Otomasyon İhtiyacı	Yöntem
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	BOTAŞ	Manuel	1/250.000-1/100.000-1/25.000 Ölçekli Topografik hrt. üzerinden	Var (Arazi Etüt ve Kamulaştırma Daire Bşk.)	Var	Mülakat
	Devlet Su İşleri Genel Md.	Manuel	1/25.000 Ölçekli hrt. ve arazi çalışmaları	Yok	Var	Mülakat
	Türkiye Petrolleri Anonim Ort.	Manuel	BOTAŞ ilgili birimler	Yok	Var	Mülakat
	Elektrik Dağıtım Anonim Şti.	Manuel	1/100.000 ölçekli topografik haritalar ve arazi çalışmaları	Yok	Var	Mülakat
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı	İller Bankası	Manuel	Hat uzunluğuna bağlı olarak 1/25.000 ölçekli topografik haritalar, yerinde ölçümler, istikşaf	Yok	Var	Mülakat
Ulaştırma Bakanlığı	Karayolları	Manuel	Arazi çalışmaları, istikşaf, harita	Var (Yol Yapım ve Güzergâh Standartları)	Var	Mülakat
	Devlet Demiryolları	Manuel	Topografik haritalar ve arazi çalışmaları	Yok	Var	Mülakat
	DLH	Manuel	İstikşaf, topografik haritalar	Yok	Var	Mülakat

2.2.2. Güzergâh Tespitinde Konumsal Veri

ÇMY güzergâh tespitinde temel bileşenlerden biri “veri”dir. Veriler özelliği itibarıyla, konumsal ve konumsal-olmayan (sözel) bilgiler olarak iki farklı şekilde ifade edilir. Konumsal bilgiler coğrafi varlığın geometrisi, büyüklüğü ve biçimi hakkında bilgiler verirken, konumsal-olmayan bilgiler ise aynı coğrafi varlığın diğer yapısal özellikleri hakkında bilgiler verir (Yomralıoğlu, 2000).

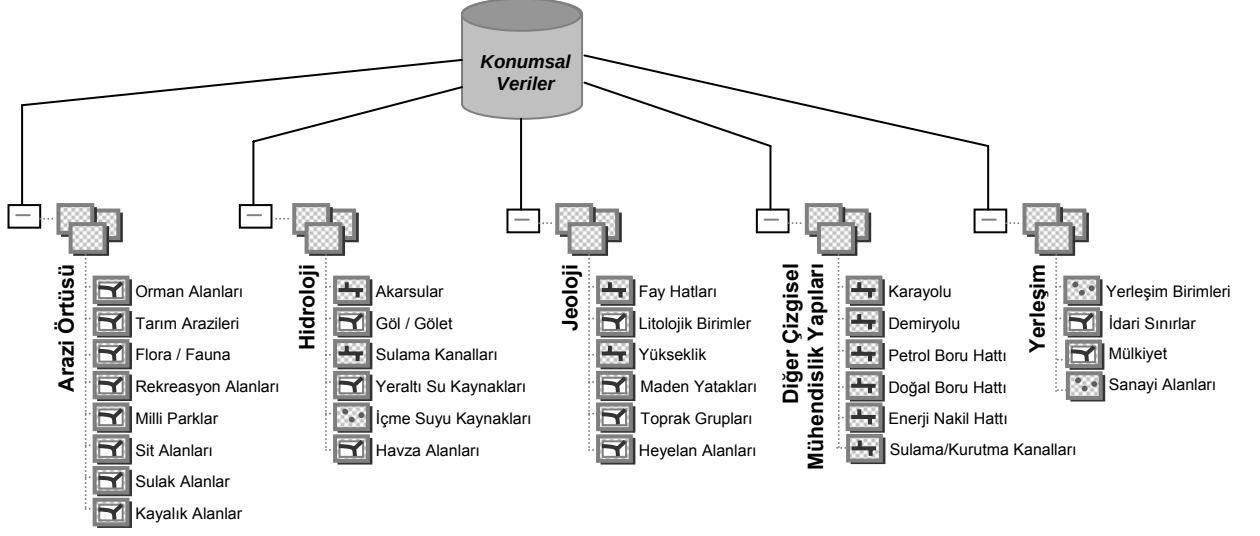
Herhangi bir ÇMY için güzergâh tespiti sürecinin CBS tabanlı modeller ile yönetilmesi ekonomik, çevresel ve sosyolojik olarak birçok avantaj sağlar (Anavberokhai, 2008; Berry vd., 2004). Bütün CBS uygulamalarında olduğu gibi, güzergâh tespiti çalışmalarında da sonuçların etkinliği verinin kalitesi ile doğru orantılıdır. ÇMY projelerinin güzergâh tespiti çalışmalarında, çalışma alanının büyüklüğüne bağlı olarak, birçok verinin toplanması, depolanması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Güzergâh tespiti problemi, konum tespiti gerektirdiğinden temelde bir konumsal problem olarak algılanabilir. Çünkü bu tür problemlerde güzergâha etki eden her faktör bir konumsal veri setine karşılık gelmektedir (Husdal, 2001).

Türkiye’de farklı kurumların ihtiyaç duyduğu büyük alanları kapsayan çalışmalarda kullanılan konumsal verilerin yetersizliği, bölgesel ölçekte yapılacak olan CBS çalışmalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizde birçok kamu kurumunun kullandığı haritalar, Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından üretilen 1:25.000 ölçekli topografik haritalardır. Kurumlar ihtiyaç duyduğu verileri (yol, akarsu, yerleşim alanları, doğal kaynaklar gibi) bu haritalardan temin etmektedir. Ancak bu haritaların ülke bazında güncellenmesi uzun bir zaman sürecinde gerçekleşmektedir. Savunma amaçlı üretilen bu haritalar çoğu kez farklı disiplinlerin kullanımı için yeterli olmamaktadır (Yomralıoğlu vd., 2002).

Kurumların ihtiyaç duyduğu, fakat topografik haritada olmayan veriler ise (arazi örtüsü, idari sınırlar, koruma alanları, rekreasyon alanları vb.) ancak farklı kaynaklardan (uydu görüntülerinden, basılı haritalardan, doğrudan araziden vb.) elde edilerek harita üzerine işlenebilmektedir. Kurumların topografik haritalardan elde ettikleri veriler güncel olmamakta, araziden elde edilen veriler ise maliyet ve zaman açısından sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla bu yöntemle toplanan veriler, kurumların günlük problemlerinin çözümünde kullanılmakta, geleceğe dönük, farklı kurumların ihtiyaçlarını giderecek şekilde konumsal bilgi üretimi yapılamamaktadır. Sonuçta konumsal veriler farklı koordinat sistemlerinde ve standartlarda elde edildiğinden, CBS çalışmaları için yetersiz kalmaktadır (Yomralıoğlu vd., 2002).

CBS’de veri toplama işlemi, en fazla zaman alan ve en çok maliyet gerektiren aşamalardan biridir. Veri toplama işlemleri değişik veri kaynaklarından, günümüzdeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı disiplinler tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu şekilde elde edilen verilerin birbiri ile bütünleştirilebilmesi de büyük önem taşımaktadır (Yomralıoğlu, 2000).

CBS tabanlı güzergâh belirleme yönteminin ilk aşaması, güzergâha etki edecek faktörler doğrultusunda gerekli konumsal veri/bilgilerin elde edilmesidir. Bu süreçte altlık olarak kullanılacak verilerin büyük bölümü konumsal veridir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. DGİH güzergâh tespitinde gerekli olan konumsal veriler

DGİH güzergâhlarının tespitinde gerekli olan konumsal ve konumsal olmayan veriler büyük hacimlidir ve çok çeşitlilik gösterir. Bu verilerin etkin bir biçimde irdelenmesi gereksinimi, son yıllarda raster tabanlı CBS yaklaşımlarını gündeme getirmiştir. (Jones ve Baron, 2000; Vincent ve Yong, 2002; Hall vd., 2005). Çünkü bu verilerin bir bütün içinde sorgulanıp analiz edilebilmesi için CBS en etkili araçlardan biridir. DGİH güzergâh tespitinde girdi olarak kullanılacak verilere, boru hattı projesinin birçok aşamasında (maliyet, işletme, bakım, zaman, hattın etkinliği vb.) gerek duyulabilmektedir (Haussamann vd., 2005). Bu bağlamda DGİH’lerin güzergâh tespitinde dikkate alınacak etkenler şu şekilde özetlenebilir:

- Kaynaktan hedefe olan en kısa mesafe,
- En küçük ölçekte sınıflandırılmış arazi örtüsü,
- Geçiş hakkı ile ilgili maliyetler,
- Yüzey eğimleri,
- Erozyon, çökme ve diğer olumsuzlukların önden kestirimi,
- Depreme duyarlı bölgeleri ve fay geçişi yapıları,
- Akarsu, yol ve demiryolu geçişleri,
- Göl, gölet, baraj gölü envanterleri,
- Alt tabakalar (kaya, toprak, vb.),
- Mevcut yasal düzenlemelerin tespiti (bataklık geçişi, sit alanları, flora-fauna, kamulaştırma, kurumlar arası bilgi alışverişi vb.),
- Nüfus merkezlerine yakınlık ve idari birim bilgileri (konumsal ve öznel),

- Mevcut kamusal koridorlardan yararlanma ve irtifak hakkı,
- Kamu ve hazine mülkiyet envanterleri,
- Ulusal maden rezervleri,
- Tarihsel ve arkeolojik önemli alanlar,
- Sit alanları,
- Rekreasyon alanları,
- Tarımsal faaliyetler,
- Diğer mevcut koridorlar ve yakınlık sınırlandırmaları,
- Geçici ve sürekli erişim,
- Hassas orman alanları ve ağaç envanterlerinin tespiti,
- Diğer Mühendislik faktörleri,
- Çevresel etkiler,
- Çevresel çözümler,
- Çevresel tepkiler ve araştırmalar,
- Çalışma (inşaat) koridoru genişliği,
- Olası mahkeme maliyetleri,
- Suçla ilgili ve sivil cezalar.

2.2.3. Model Tasarımı

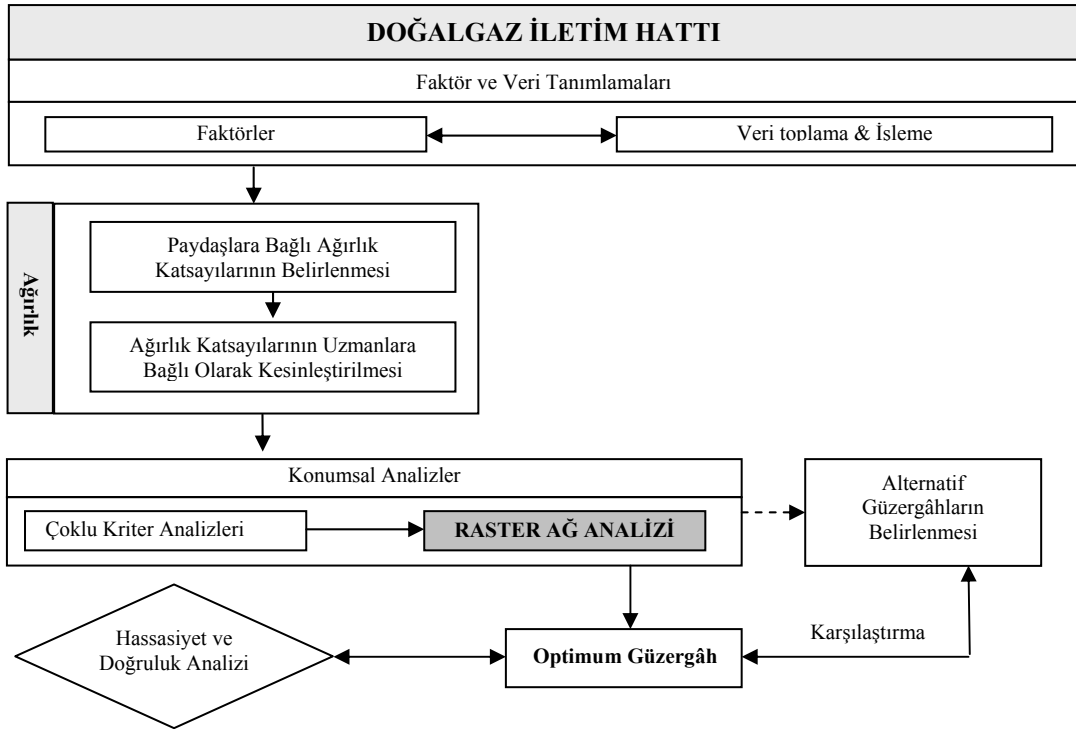
2.2.3.1 Kavramsal Modelin Oluşturulması

Raster tabanlı güzergâh planlama modelinde ilk aşama, ÇMY türüne göre güzergâh tespitine etki edecek faktörlerin belirlenmesidir. Her bir ÇMY için güzergâh tespitine etki eden faktörler değişkenlik gösterir. Örneğin bir karayolu güzergâhı tespitinde eğim faktörü önemli iken bir DGİH tespitinde akarsu geçişi sayısı daha önemlidir (Keshkamat vd., 2009). ÇMY projelerinin güzergâh tespitine etki eden faktörler kendi içinde de farklılık göstermektedir. DGİH'nin kara geçişi ile deniz geçişi arasında güzergâh tespitine etki edecek faktörler birbirinden oldukça farklıdır (Deniz, 2007). Bu faktörlerin güzergâha etki oranlarının da ayrıca tespit edilmesi gerekmektedir. Faktör ağırlıkları olarak isimlendirilen bu değerler farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir (Triantaphyllou, 2000).

Bu çalışmada, bir DGİH projesinin güzergâhını belirlemek için gerekli faktörler, faktör ağırlıkları ve ilgili veri katmanlarının bir bütün içerisinde irdelenebildiği dinamik yapıda raster tabanlı güzergâh planlama modeli oluşturulmuştur (Şekil 2.9).

Doğalgaz boru hattı güzergâh planlama modelinde aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir:

- a- Faktörlerin belirlenmesi,
- b- Faktör ağırlıklarının tespit edilmesi (Paydaşlar, Uzmanlar, Mülakatlar, ÇKKV Yöntemi, AHY),
- c- Faktörlerle ilgili verilerin toplanması ve veri katmanlarının oluşturulması,
- d- Veri katmanları içinde öznitelik bilgilerine göre geçiş zorluklarının tanımlanması,
- e- Raster tabanlı konumsal analizler,
- f- Güzergâh tespiti,
- g- Alternatiflerin belirlenmesi,
- h- Alternatif güzergâhların değerlendirilmesi (ÇKKV yöntemleri),
- i- Sonuç – çıktı – raporlama.



Şekil 2.9. DGİH güzergâh planlama kavramsal modeli

2.2.3.2. Veritabanı Tasarımı Yapılması

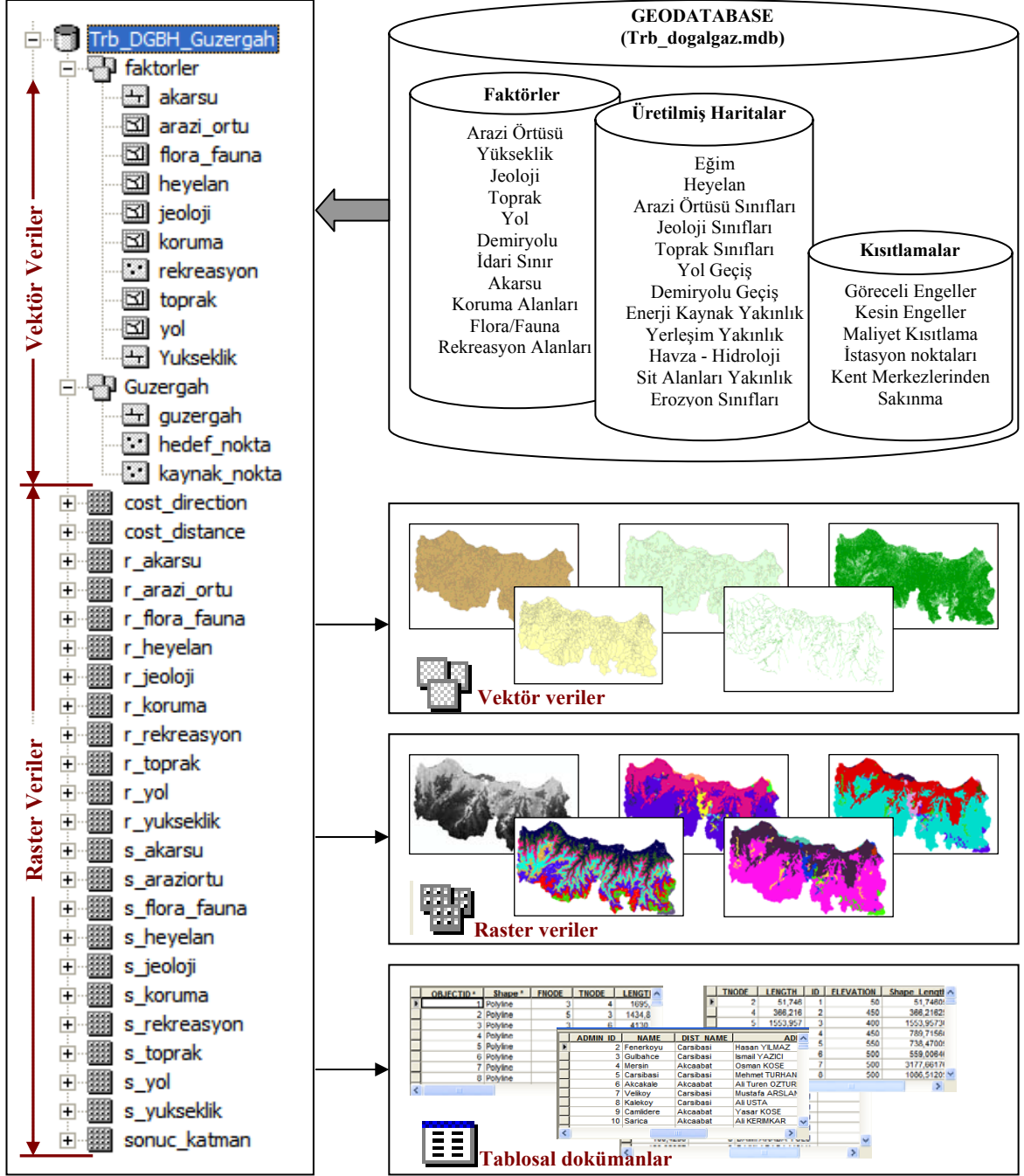
Raster tabanlı güzergâh planlama modelinde, DGİH güzergâhına etki edecek faktörlere bağlı olarak gerekli konumsal ve konumsal olmayan verilerin bir bütün içinde organize edilmesi gerekmektedir. CBS tabanlı gerçekleştirilen bu tür uygulamalardan beklenen başarı; sistem içinde kullanılacak verilerin kalitesine, kullanılabilirliğine ve karar vericilere gerekli yüksek düzeyde bilgilerin en az emekle ve daha kısa zamanda sunulabilmesine bağlıdır (Başkent, 1997).

Ülkemizde son yıllarda gerçekleştirilen CBS tabanlı uygulamalarda, sistem kurulurken konumsal veritabanı tasarımına genellikle gerektiği kadar önem verilmediği görülmektedir (Reis, 2003). Günümüzde CBS daha çok bir yazılım/donanım sağlama ve kullanılan verilerin sayısallaştırılarak otomasyona geçilmesi şeklinde algılanmaktadır. Oysa, her kurum kendi içinde ya da kurumlar arası veri paylaşımı için gerekli veritabanı tasarım aşamasına diğer bileşenlerden çok daha fazla önem vermek zorundadır. Bu bağlamda bütün CBS uygulamalarında olduğu gibi raster tabanlı güzergâh belirleme modelinde de öncelikle gerekli konumsal ve konumsal olmayan verilerin organize edildiği bir veritabanı tasarımı yapılması gerekmektedir (Şekil 2.10).

2.2.4. DGİH Güzergâhına Etki Eden Faktörler

Raster tabanlı güzergâh belirleme modelinde, öncelikle güzergâha etki eden faktörlere karşılık gelen konumsal ve konumsal olmayan bilgilerinin yeterli doğruluk ve hassasiyette elde edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda toplanan bu verilerin işlenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve sunulmasında CBS en etkili araçlardan biridir (Nişancı, 2005). Dolayısı ile verilerin toplanması ve uygun formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Türkiye bağlamında konumsal verilerin üretilmesinden paylaşılmasına kadar geçen süreçte birçok problem yaşandığı bir gerçektir (Reis, 2003). Mevcut olmayan konumsal verilerin yeniden üretilmesinde yaşanan zorluklar, konumsal olmayan bilgilerin dağınık bir yapıda olması ve mevcut olan verilerin istenilen kalitede olmaması bu problemlerin en önemli nedenlerindendir. Zaman ve maliyet açısından bütün sistemin en önemli kısmını oluşturan veri toplama sürecinin tamamlanması ve buna bağlı olarak kullanılacak faktörlere ait veri katmanlarının oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 2.3’de DĞİH güzergâhına etki eden sınırlandırmalar, kısıtlamalar ve bu bağlamda kullanılan veri kaynakları gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Raster tabanlı güzergâh planlama modeli için veritabanı tasarımı

Tablo 2.3. DGİH güzergâhına etki eden sınırlandırmalar ve ilgili veri katmanları

İlgili Veri Katmanları	Sınırlandırmalar	
	Boru hattı uzunluğu	Koridor genişliği
		Tarım alanı geçişi
		Ormanlık alan geçişi
		Kayalık alan geçişi
		Mera alanı geçişi
		Göl, gölet, baraj gölü vb. sulak alan geçişi
		Yerleşim alanı geçişi
		Düşük kamulaştırma maliyetli alan geçişi
		Aktif heyelanlı alan geçişi
		Durağan heyelanlı alan geçişi
		Potansiyel Heyelanlı alan geçişi
		Erozyonlu alan geçişi
		Depreme duyarlı alan geçişi
		Akarsu geçişi
		Yol ve demiryolu gibi diğer ÇMY geçişi
		Yüksek eğimli alan geçişi
		Litolojik sakıncalı alan geçişi
		Mevcut kamusal koridorlardan geçiş
		Mevcut ve potansiyel maden alanı geçişi
		Tarımsal uygun toprak türü geçişi
		Mevcut koridorlara sınırlı geçiş
		Tarihsel ve arkeolojik alan geçişi
		Rekreasyon alanı geçişi
		Sit alanı geçişi
		Koruma alanı geçişi
		Su kaynakları geçişi
		Flora / Fauna geçişi
Arazi Örtüsü	X	X
Yükseklik	X	X
Jeoloji	X	X
Toprak	X	X
Akarsu	X	X
Yol	X	X
Flora / Fauna	X	X
Fay Hattı	X	X
Koruma Alanları	X	X
İdari Birim	X	X
Rekreasyon	X	X
Demiryolu	X	X
Mülkiyet	X	X

DGİH güzergâh planlamasında faktörler ve bu faktörlerin ağırlıkları projenin yapım, işletim ve bakım hassasiyetine göre değişir. Örneğin yoğun heyelan alanlarının bulunduğu bir alanda DGİH güzergâhı tespitinde, heyelan faktörü daha yüksek bir ağırlıkta hesaba katılmaktadır (Yesilnacar ve Topal, 2005). Ya da tropikal alanlar gibi çevresel anlamda duyarlı alanlarda güzergâh tespiti yapılırken flora-fauna faktörü için kesin engel tanımlaması yapılmaktadır (Keshkamat vd., 2009). Bu bağlamda genel itibarıyla boru hattına etki eden faktörler üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar; çevresel, ekonomik ve sosyolojik faktörlerdir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4. DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin genel sınıflandırması

	Ekonomik	Çevresel	Sosyolojik
Arazi Örtüsü	X	X	X
Yükseklik	X		
Jeoloji	X		
Toprak	X		X
Akarsu	X	X	
Yol	X	X	
Demiryolu	X		
Flora / Fauna		X	
Deprem/Fay	X		
Koruma Alanları		X	X
İdari Birim			X
Rekreasyon		X	X
Mülkiyet	X		X

Önerilen bu modelde, güzergâha etki eden faktörlerin önemli bir kısmı değerlendirilmiş ve aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.2.4.1. Arazi Örtüsü

Bütün ÇMY’lerde olduğu gibi DĞİH güzergâh tespitinde de en önemli faktörlerden birisi arazi örtüsüdür. Arazi örtüsü katmanı yüzey özellikleri ve arazinin kullanımı ile ilgili genel bilgiler sağlar (Price vd., 2007). Arazi örtüsü verisi boru hatları için yüksek risk taşıyabilecek alanları ya da geçiş için uygun alanların gösterilmesini sağlar. Boru hattı projelerinde çevresel, sosyolojik ve ekonomik açıdan en uygun güzergâhların tespit edilmesinde temel faktör arazi örtüsüdür (Yusof ve Baban, 2004). Özellikle yapım maliyetinin düşük olabileceği bölgeler bu veri üzerinden seçilebilmektedir. Arazi örtüsü verisi kentsel alanlar, iskân bölgesi, ticari faaliyet alanları, endüstriyel, ulaşım, tarımsal alanlar, ekili alanlar, bozkır ve açık alanlar, koruluklar, fidanlıklar, çiftlik arazileri, ormanlık alanlar, sulak alanlar, nehir ve kanallar, göller, su rezerv alanları, akarsu delta alanları, çorak ve verimsiz araziler, sahiller, kumsal alanlar, maden yatakları, fundalık alanlar, askeri alanlar ve buzul bölgeler gibi boru hattı geçişi için önem arz eden alanları kapsar (Çevik ve Topal, 2003; Yesilnacar ve Toplal, 2005; Jones ve Barron, 2000; Darvishsefat, 2004).

Arazi örtüsü verisi iki farklı kaynaktan temin edilebilmektedir. Birincisi MTA Bölge Müdürlüklerinin ürettiği 1/100.000 ölçekli arazi kullanım haritalarıdır. Bu haritalar arazi kullanım sınıflarını içermektedir. İkinci kaynak ise uydu görüntüleridir. Haritalardan elde edilen verilerin kalitesi ve güncelliği göz önünde bulundurulduğunda uydu görüntülerinin sınıflandırılması sonucu elde edilen haritalar esas alınmalıdır (Reis, 2003). Veri toplama sürecinin ekonomik boyutu ve özellikle zamana bağlı olarak değişen verilerin konumsal ve zamansal geçerliliğinin sınırlı olması, arazi örtüsü verisinin temininde geniş alanlardan sürekli olarak veri sağlayan uydu görüntülerinin kullanımını gerekli kılmaktadır. Günümüzde arazi örtüsü verisinin elde edilebilmesi için Landsat uydu görüntüleri sıklıkla kullanılmaktadır. Landsat uydusu spektral bant çeşitliliği, arazi örtüsü türlerinin ayırt edilmesinde çok etkilidir (Güler vd., 2007).

2.2.4.2. Eğim

Boru hatları çok uzun mesafelerde geniş çaplı borular kullanılarak inşa edilmektedir. Bazı durumlarda çok engebeli yüzeyleri geçerek hedef noktasına ulaşırlar. Özellikle akışkanlığı düşük olan petrolün, hattın içinden belirli yüksekliklere ulaştırılabilmesi daha çok enerji kullanılmasını gerektirmektedir (Pharris vd., 2007). DGİH güzergâh planlamasında eğim faktörünün irdelenebilmesi için öncelikle sayısal yükseklik modellerinin (SYM) oluşturulması gerekir. Güzergâha etki eden faktör olarak sadece SYM verisi kullanılarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Smith, 2006)

Özellikle ekonomik maliyet açısından en uygun güzergâhın belirlenmesinde eğim faktörü önemlidir. Eğim değerinin yüksek olduğu alanlarda DGİH yapım maliyeti yükselir. Ayrıca heyelan, erozyon ya da çökme gibi herhangi bir doğal olumsuzluğa karşı önceden yapılması gereken koruma yapılarının bu tür alanlarda fazla olması ekonomik maliyeti arttırır.

Eğim verisi, DGİH güvenliği için önem arz eden potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesinde gereklidir. Eğim verisi, arazi örtüsü ve jeolojik yapı bir bütün içinde değerlendirilerek potansiyel heyelan alanları belirlenir ve zorunlu olmadıkça bu alanlardan boru hattı geçirilmez. Geçirilmesi zorunlu olan durumlarda ise ek koruma yapıları inşa edilir.

Eğim verisi çalışma bölgesinin büyüklüğüne ve çalışmanın hassasiyetine göre, HGK tarafından 1/25.000 ölçeğinden 1/250.000 ölçeğine kadar üretilen, sayısal yükseklik haritalarından elde edilebilmektedir.

2.2.4.3. Jeoloji / Litoloji

Litoloji DGİH güzergâh planlamasında önemli rol oynar. Çünkü farklı litolojik birimler, DGİH güzergâhı için farklı özellikler gösterir (Feldman, 1995). Litolojik sakıncalı alanların belirlenebilmesi için jeoloji veri katmanının oluşturulması gerekmektedir. MTA genel müdürlüğü ya da MTA bölge müdürlüklerinde bu haritalar 1/25.000 ölçeğinde mevcuttur. Bu haritalar üzerinde litolojik birimlerin ayrımı yapılmıştır.

2.2.4.4. Heyelan

Doğal afetler içinde heyelanlar, en sık rastlanan ve en çok zarar verenlerden biri olarak gösterilmektedir. Bitki örtüsü, arazi ve toprak gibi doğal kaynakların yanı sıra yol, boru hattı, iletişim hattı ve köprü gibi projelere de zarar verirler. Bu tür zararların önlenmesi için heyelan alanlarının tespit edilmesi ve güzergâhın bu alanlardan geçirilmemesi gerekmektedir. Bu bağlamda herhangi bir ÇMY için heyelan hassasiyet değerlendirmesi yapılması, proje planlamasında ya da projenin ilerleyen aşamalarında kullanışlı bilgiler sağlar (Çevik ve Topal, 2003).

DGİH güzergâh planlamasında geçiş için uygun olmayan yerlerden birisi de heyelan bölgeleridir. Genel anlamda güzergâh planlama çalışmalarında heyelan alanları engel olarak tanımlanmış ve bu bağlamda aktif heyelan alanları, durağan heyelan alanları ve potansiyel heyelan alanları olarak üç sınıfa ayrılmıştır (Reis, 2003).

Son yıllarda aktif, durağan ve potansiyel heyelan alanlarının belirlenebilmesine yönelik, UA ve CBS teknolojilerinin entegre edildiği, modeller geliştirilmiştir. Potansiyel heyelan alanı belirleme çalışmalarında gerekli parametreler iki ana grup altında toplanmıştır. Bunlardan birincisi, jeoloji, eğim, yükseklik, yön, bitki örtüsü ve drenaj bilgileri gibi esas değişkenler, diğeri ise yağmur oranı, deprem ve yanardağ gibi parametreleri içeren harici değişkenlerdir (Çevik ve Topal, 2003; Donati and Turrini 2002). 1997 yılında Ereğli DGİH üzerinde, Hendek ilçesi yakınlarında meydana gelen heyelan önemli bir örnektir. Bu heyelan sonucu boru hattında başlayan yangın üç günde söndürülebilmıştır (Çevik ve Topal, 2003).

Heyelan verisinin temini için en önemli araç uzaktan algılamadır. Güncel uydu görüntüleri üzerinden heyelan alanları tespit edilebilmektedir. Diğer yandan CBS araçları kullanılarak da potansiyel heyelan alanları etkin bir şekilde tespit edilebilmektedir. Ayrıca MTA genel müdürlüğünde bulunan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarından heyelan verisi temin edilebilmektedir (Reis, 2003).

2.2.4.5. Toprak

DGİH güzergâh tespitinde arazi kabiliyet sınıfına göre verimsiz alanlar ve tarım arazisi toprak derecesi düşük olan alanlar tercih edilmektedir. Bu tür projelerde her ne kadar kazı sonrası toprak ve bitki örtüsü eski haline getirilmeye çalışılsa da, tam anlamıyla

başarı sağlanamaması işletme aşamasında sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Tarım arazilerinin ya da toprak kalitesi olarak tarım yapmaya elverişli alanlar üzerinden boru hattının geçirilmesi, kanal derinliğine bağlı olarak drenaj anlamında da sorunlar yaşanmasına neden olmakta, bazı durumlarda boru hattı kanalı tarım arazilerinin su tutmasını engellemektedir. Tarım açısından çok elverişli olan topraklar üzerinden boru hatlarının geçirilmesi sosyo-ekonomik sorunlar yaşanmasına da neden olmaktadır. Bu bağlamda DGİH güzergâhının tespitinde toprak verisi önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır (Dey, 2006).

Toprak verisi arazi kullanım kabiliyet sınıflarına (AKKS) göre sekiz sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar toprak zarar ve sınırlandırmalarına göre I. sınıftan VIII. sınıfa kadardır. İlk dört sınıf arazi, iyi bir toprak idaresi altında, yöreye adapte olmuş kültür bitkileri ile orman, mera ve çayır bitkilerini iyi bir şekilde yetiştirme yeteneğine sahiptir. V., VI. ve VII. sınıflar adapte olmuş yerli bitkilerin yetişmesine elverişlidir. V. ve VI. sınıflarda, toprak ve su koruma önlemleri alındığında bazı özel bitkiler de yetiştirilebilir. VIII. Sınıf arazilerde çok etkin ve pahalı ıslah çalışmaları ile ürün alınabilirse de, mevcut piyasa koşullarında elde edilecek ürün yatırım harcamalarını karşılayamaz. Bunun yanı sıra toprak verisi tarımsal yeteneklerine göre de dört sınıfa ayrılmaktadır. Birinci derecede önemli tarım arazileri, mutlak tarım arazileri olarak adlandırılır. Bu araziler orman ve fundalık arazileri hariç, I. ve II. sınıf araziler ile diğer sınıflardaki yeterli sulanan arazileri içine alır. İkinci derecede önemli tarım arazileri; orman ve fundalık araziler hariç, arazi kullanma kabiliyet sınıfı III olan arazileri kapsar. Üçüncü derecede önemli tarım arazileri; I., II. ve III. sınıftan başka sınıflarda yer alan tesis edilmiş bağ-bahçe ve özel ürün arazilerini içine alır. Dördüncü ve son sınıf araziler ise; diğer araziler adı altında toplanmaktadır. Bu sınıfa ise ilk üç tarım arazi sınıfı içerisine girmeyen araziler girmektedir (Reis, 2003)

Toprak verisi il özel idaresi müdürlüklerinden 1/100.000 ölçekli olarak temin edilebilmektedir. Ayrıca Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme genel müdürlüğü bünyesinde bulunan Uzaktan Algılama ve Tarım Arazileri Bilgi Merkezinden de (UTABİM) bu verilere erişilebilmektedir.

2.2.4.6. Diğer Çizgisel Mühendislik Yapıları

Boru hattı güzergâhının tespitinde diğer ÇMY'lerin konumu önemlidir. Bir boru hattı için yol geçişi, demiryolu geçişi, boru hattı geçişi ya da herhangi bir kanal geçişi

çevresel ve ekonomik anlamda önem taşımaktadır (Dey ve Gupta, 2001). Boru hatlarının bu tür yapıların altından geçirilmesi oldukça maliyetlidir. Ayrıca bu durum, ÇMY'lerin taşımacılık güvenliği için de sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda DGİH'nin diğer ÇMY'ler ile mümkün oldukça kesişmemesi gerekmektedir.

ÇMY verileri ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilebilmektedir. Ayrıca uydu görüntüleri bu bağlamda yeterli hassasiyette veri sağlamaktadır. Günümüzde, uydu görüntüleri kullanılarak yol, demiryolu, kanal, boru hattı gibi ÇMY'ler hakkında konum verisi elde edilebilmektedir (Hausamann vd., 2005).

2.2.4.7. Akarsu

DGİH güzergâh planlamasında akarsu geçişlerinin en az olması öngörülmektedir (Atkinson vd., 2005). Akarsu geçişlerinde, akarsu debisi ve yatak genişliğine göre farklı teknolojik yaklaşımlar kullanıldığı için boru hattı yapım maliyetlerini ekonomik açıdan oldukça arttırmaktadır (Şekil 2.11). Bunun yanı sıra akarsu içindeki ve çevresindeki ekolojik dengenin korunması ve su kaynakları açısından çevresel zararların en aza indirgenebilmesi için petrol ve doğalgaz ileten boru hatlarının mümkün oldukça az akarsu geçişi yapması gerekmektedir (Jones ve Barron, 2001). Suyun ve ıslak zeminin boru hattı üzerinden normal yüzeylere göre daha kısa zamanda oluşturacağı çürümeye bağlı zararlardan dolayı da boru hattının ıslak zeminlere yerleştirilmesi uygun değildir. (Osakuni ve Abam, 2004). Akarsu geçişleri sadece su yatağından geçiş anlamına gelmemektedir. Büyük akarsu yataklarının oluşturduğu önemli havzaların da bu geçişler içinde bütüncül olarak düşünülmesi gerekmektedir.

Akarsu verisinin elde edilebilmesi için de uydu görüntüleri yeterli hassasiyette veri sağlamaktadır. Ayrıca akarsu verisi farklı kurumların ürettiği haritalardan da temin edilebilmektedir (Reis, 2003).



Şekil 2.11. DGİH-akarsu geçişi (URL_7, 2009).

2.2.4.8. Flora/Fauna

Petrol ve petrol ürünleri ileten boru hatları çevresel anlamda yüksek derecede zarar verici projeler olarak nitelendirilmektedir (Dey, 2002, Young vd., 2004). Bu bağlamda DGİH projeleri hayata geçirilmeden önce, güzergâh üzerindeki çevresel etki değerlendirmelerinin yapılması ve çevresel hassas bölgelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Çevresel etki özellikle flora ve fauna yapıları üzerinde kendisini göstermektedir. Özel flora ve fauna türleri yaşam alanları, özel bazı türlerin üreme ve gelişme alanları bazı DGİH uygulamalarında kesin engel olarak tanımlanmaktadır.

2.2.4.9. Deprem/Fay

Petrol ve doğalgaz iletim hatlarının doğal felaketlere karşı duyarlılık dereceleri oldukça yüksektir. Bu doğal felaketlerden biri de depremdir. Deprem anında boru hatlarında ortaya çıkabilecek hasarlar büyük yıkımlar yapabilir. Müdahale süresi uzun olduğu için bu yıkıcı etkiler daha da artabilir. Boru hatları çok uzun mesafelerde inşa edildiği için geçtiği alanlar yüzey özellikleri açısından çeşitlilik gösterir. Deprem açısından hassas bölgeler de bu güzergâhların içinde olabilir. Boru hatlarının özellikle ana iletim hatlarının fay hatları üzerinden direkt geçirilmemesi gerekmektedir (Tangri vd., 2008). Özellikle deprem bölgelerinde yüksek risk taşıyan alanlarda altyapı projeleri ve özellikle

yanıcı ve patlayıcı maddeler taşıyan boru hatları bu doğal felaketlerin yıkıcı etkilerini tetiklemektedir. Plansız arazi kullanımı, çevresel kontrol mekanizmalarının çalıştırılmaması ve yeterli önlemlerin alınmaması bu etkileri artırmaktadır (Tangri vd., 2008).

Örneğin, Bakü Ceyhan Tiflis petrol boru hattı potansiyel sismik risklerin fazla olduğu Sivas, Erzurum ve Erzincan bölgelerinden geçmektedir. Türkiye bu alanlar itibarıyla büyük bir deprem bölgesidir. En önemli fay hattı olan Doğu Anadolu fay hattı bu bölgededir. 1924 yılından bu yana bu bölgede 17 büyük deprem felaketi meydana gelmiştir. Boru hattı inşa edildikten sonra herhangi bir deprem felaketi olmadığı için boru hattının fay hattının etkisini azaltabilecek koruma yapılarının ne kadar sağlıklı yapıldığı henüz belirlenememiştir. Fakat bir deprem anında bu hat için petrol akışının durdurulması süresi 10 dakika ve bu sürede boru hattından açığa çıkacak petrolün miktarı 25.000 galon (yaklaşık 100 ton) olarak öngörülmektedir. Bu durumun ekonomik maliyeti ise yaklaşık 100.000 USD civarındadır (ham petrol varil fiyatı 170 USD olarak hesaplanmıştır).

2.2.4.10. Havza ve Su Kaynakları

Boru hattı güzergâh planlamasında çevresel etkilerin azaltılması, boru hattının önemli su havzalarından ve su kaynaklarından geçirilmemesine de bağlıdır. Ekolojik açıdan önemli türler barındıran büyük su havzalarının boru hattı inşası sürecinde tahrip edilmesi çevresel sorunlar ortaya çıkarmaktadır (Jones ve Barron, 2001). Sulama, kullanma ya da içme suyu olarak kullanılan su kaynakları kesin bariyer olarak tanımlanmaktadır. Bu tür alanların yakın çevresinden petrol ya da doğalgaz boru hatları geçirilmemektedir. Yapım sırasında meydana gelebilecek risklerin yanı sıra işletme anında oluşabilecek kazalar da herhangi bir sızıntı ya da dökülme söz konusu olduğunda, bu durum sosyolojik anlamda da problemler oluşturmaktadır.

2.2.4.11. Rekreasyon ve Koruma Alanları

Turizm alanları, kültürel değer taşıyan alanlar ve mesire yerleri gibi rekreasyon alanları sosyolojik anlamda önem taşıyan alanlardır. Doğalgaz ve petrol gibi yanıcı ve zarar verici madde taşıyan boru hatlarının bu alanlara yakın yerlerden geçirilmemesi

öngörülmektedir (URL-8, 2009). Bu bağlamda DGİH güzergâh planlamasında turizm alanları, kültürel alanlar ve önemli mesire yerlerinin veri katmanları halinde elde edilmesi ve sistem içinde analiz edilmesi gerekmektedir. BTC boru hattı yapımında, yaklaşık 200 adet arkeolojik alan tespit edilmiş ve bu alanlara göre güzergâh değişiklikleri yapılmıştır. Boru hattı üzerindeki bu alanların önceden tespit edilememiş olması, güzergâh değişikliğinden kaynaklanan ekonomik sorunları da beraberinde getirmiştir.

2.2.4.12. Yerleşim Alanları

Doğalgaz ve petrol taşıyan iletim hatlarının güzergâh tespitinde irdelenmesi gereken önemli faktörlerden birisi de yerleşim alanlarına yakınlık faktörüdür. Bugüne kadar gerçekleştirilen bazı çalışmalarda yerleşim birimleri ya da nüfus yoğunluğu olan alanlar kesin engel olarak tanımlanmıştır (Jo ve Ahn, 2005). Yerleşim alanlarına yakınlık sosyolojik ve çevresel anlamda önemli bir faktördür. Çünkü petrol ve doğalgaz gibi tehlikeli madde ileten boru hatları herhangi bir olumsuz durumda çevresindeki çok geniş bir alana yıkıcı etki yapmaktadır (Şekil 2.12).

DGİH güzergâh tespiti çalışmalarında yerleşim alanlarına uzaklık önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmiş ve bu bağlamda idari birimler, yerleşim alanları ve nüfus bilgileri veri katmanları olarak irdelenmiştir.



Şekil 2.12. DGİH’de meydana gelen patlamadan etkilenen yerleşim birimleri (URL-9, 2008)

2.2.5. Faktör Ağırlıklarının AHY ile Belirlenmesi

Boru hatlarının güzergâh planlama sürecinde birden fazla nitel ya da nicel parametrenin, bir bütün içinde değerlendirilmesi ve çıkan sonuca göre karar verilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerden bazıları birbiriyle çeliştiğinde, daha güvenilir sonuçların elde edilmesi için ÇKKV yöntemi olarak adlandırılan karar verme süreci kullanılır. ÇKKV yönteminde, kriterlerin çelişkili olmasından dolayı en uygun alternatifin seçimi karar verici açısından oldukça zordur. Bu kriterlere bağlı olarak en doğru sonuçları elde edebilmek için, kriterler arasındaki çelişkileri ele alıp bu çelişkileri giderecek yöntemlerin kullanılması gereklidir (Yalçın, 2005)

AHY, karar teorisinde yaygın uygulama alanı bulan bir yöntem olup birbiriyle çelişen ölçülebilir ve/veya soyut kriterleri dikkate alan bir ölçme yöntemidir. AHY’de, bir karar verme durumunda, veriler kadar değerli olan bilgi ve deneyimler de dikkate alınmaktadır. AHY, kişisel kararlardan karmaşık işletme kararlarına kadar geniş bir alanda kullanılabilen bir araçtır. Teorinin başarısı, basitliğinden ve değişik koşulların her birinde aynı şekilde kullanılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

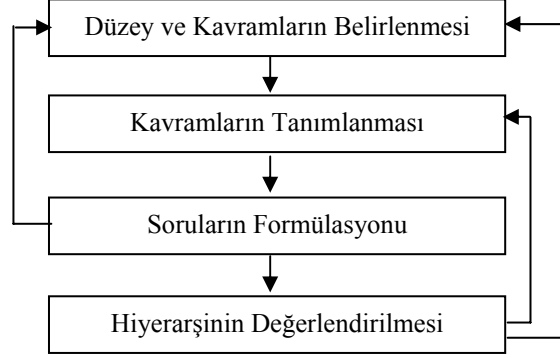
AHY’nin karar verme uygulamaları, Hiyerarşi Tasarımı ve Değerlendirilmesi olarak iki aşamada gerçekleşir:

a) Hiyerarşi Tasarımı: Problem alanı ile ilgili bilgi ve deneyim gerektirir. İki karar verici, aynı probleme ilişkin iki ayrı tasarım geliştirebileceği gibi probleme ilişkin aynı hiyerarşiyi de geliştirebilir. Hiyerarşiler oluşturulurken hiyerarşiyi tasarlayan kişi/kişiler aşağıdaki hususları dikkate almalıdır.

- Problem tanımlanırken mümkün olduğunca öğelerde meydana gelen değişim dikkate alınmalı,
- Problem değerlendirilirken çevre etkileri göz önünde bulundurulmalı,
- Çözüme katkıda bulunacak nitelik ve katkıları belirlenmeli,
- Problemle ilişkili katılımcılar belirlenmelidir.

Hiyerarşi tasarımı, birbirini izlemeyen ama birbiriyle ilişkili üç süreçten oluşur: düzey ve öğelerin belirlenmesi, kavramların tanımlanması ve soruların formüle edilmesi. Birinci adımda düzey ve öğeler tanımlanır. Bu tanımlamalar soru formülasyon aşamasında kullanılır. Eğer karar vericinin bu sorulara cevap vermede bir sorunu olursa, düzey ve öğe tanımlaması yenilenir. Hiyerarşi tasarımı bu şekilde kendini tekrarlayan bir süreçtir. Sorgulama sürecinde belirsizlik, karar vericiyi yanlış kriter ve alternatif seçimine götürür.

Tüm sorular cevaplanabilir nitelikte ve mevcut bilgilerle tutarlı olmalıdır. Hiyerarşi tasarımı sürecinde akış seması Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Hiyerarşi tasarımı (Yalçın, 2005).

Hiyerarşide öğelerin her kümesi bir hiyerarşi düzeyini oluşturur. En üst düzeyde sadece genel amacı temsil eden bir öge bulunur. Bundan sonra gelen düzeylerde farklı öğeler bulunabilir. Bir düzeydeki öğeler bir sonraki daha yüksek düzeydeki kriter çerçevesinde birbiriyle karşılaştırılır. Her düzeydeki öğeler aynı önem derecesine sahip olmalıdır. Öğeler aralarındaki çelişki büyük ise yani öğeler birbirinden çok farklı önem derecelerine sahip ise bu öğeler değişik düzeylerde yer almalıdır. Hiyerarşinin düzey sayısında bir sınırlama yoktur. Oluşturulan hiyerarşi bir kalıp değildir. Hiyerarşiye yeni kriterler eklenip çıkarılabilir, kriterlerin göreceli önemleri hakkında değerlendirmeler değiştirilebilir, düzey sayısı arttırılabilir.

b) Hiyerarşinin Değerlendirilmesi: AHY’nin uygulanmasında ikinci aşama, hiyerarşide yer alan iki öge arasındaki ilişkilerin sayısal olarak temsil edilmesini sağlayan karşılaştırmanın ya da değerlendirmenin yapılmasıdır. Bu değerlendirme kümesi, bir kare matris şeklinde olan ikili karşılaştırmalar matrisi olarak ifade edilir. Her bir değerlendirme iki öge arasında, bir üst düzeydeki kritere bağlı olarak hangisinin daha önemli olduğunu ortaya koyar ve bu önemin derecesini yansıtır. Bu önem derecesini ifade etmek için sayılardan yararlanılır. Bu sayıların belirlenmesinde bir ölçeğin kullanılması gerekir.

AHY’de ölçeğin belirlenmesi çok önemlidir. AHY’de ölçeğin belirlenmesi için önce bu ölçek için belli bir sayılar dizini alınır ve bu sayılar kullanılarak belirlenecek önceliklerin birbiriyle nasıl birleştirileceğine karar verilir. Bir ölçek nesneler kümesi, sayılar kümesi ve nesnelerle sayılar arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenmesi olmak üzere üç elemandan oluşur.

Standart bir ölçekte ölçeğin değerlerini oluşturmak için bir birimin kullanılması gerekmektedir. Standart ölçek, belli bir özelliği ölçmek için geliştirilen bir birimi kullanarak, nesneler ya da olayların ölçümünde kullanılır. Ölçekten elde edilen sayılar sadece insan zihni açısından bir uyarıcı işlev görür ve kendi başlarına bir değere sahip değildir (Yalçın, 2005).

Standart ölçekleri kullanmayan daha genel bir ölçüm yöntemi de bulunmaktadır. Bu yöntem standart ölçme ölçeği olmayan özellikler için kullanılabilen göreceli ölçüm yöntemidir. Bu gibi özellikler soyut, maddi olmayan özelliklerdir. Göreceli ölçeklerin çok önemli bir özelliği de ihtiyaç duyulduğunda standart ölçeklerden elde edilen bilgileri kullanabilmeleridir. Böyle bir durumda standart oran ölçeğinde elde edilen ölçümler normal hale getirilerek göreceli ölçekteki ölçümlere dönüştürülür. Bir özelliği ölçmek için kullanılan standart ölçeğin elde edilmesi her zaman mümkündür. Eğer ele alınmakta olan özelliğe ilişkin doğrudan gözlemler ya da değerlendirmeler yapılıyorsa, önceliğin ya da önem derecesinin ifade edilmesi açısından göreceli bir ölçeğe ihtiyaç duyulur. Böyle bir ölçek, standart bir ölçekten elde edilen verilerin gerçekte neyi ifade ettiğini anlamada da çok yarar sağlar. Subjektif değerlendirmelerin ifade edilmesi açısından da göreceli ölçeklere her zaman ihtiyaç duyulmaktadır (Yalçın,2005). Tablo 2.5’de gösterilen bu ölçek AHY’nin temel ölçeğidir.

Tablo 2.5. AHY tercihleri için ikili karşılaştırma ölçeği (Eleren, 2007)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkıdır
3	Orta önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir
5	Güçlü önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Çok güçlü önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilmiştir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler	Bir değerlendirmede, hangi değer olduğu noktasında tereddütler varsa, sayısal değerler ortasındaki bir değer verilir

Hiyerarşinin her düzeyindeki benzer öğeler, bir sonraki düzeydeki kriterler açısından karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalardan elde edilecek sonuçlar yukarıdaki ölçekte yer alan sayılar cinsinden ifade edilir. Bu ölçek 1’den 9’a kadar olan değerlerin anlamlarını

göstermektedir. Bu ölçekte yer alan değerler, öğeler arasındaki ilişkilerin yoğunluğunu belirtmektedir. Tüm öğelerin ikili karşılaştırılması sonucunda ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matriste bir öğenin kendisiyle karşılaştırılması 1 sayısı ile ifade edileceğinden, matrisin köşegenlerine 1 değerleri yerleştirilir. “n” elemanlı bir matriste $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma yapılır. Bunun nedeni, matrisin diyagonal köşegeninde öğelerin kendileriyle karşılaştırılmalarından dolayı 1 değerlerinin yer almasıdır. Matriste diyagonal köşegenin üst tarafındaki eleman sayısı kadar değerlendirme yapılması gereklidir. Bu durum, diyagonal köşegenin altında kalan değerlendirmelerin, köşegenin üstünde yer alan değerlerin tersi olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden ihtiyaç duyulan değerlendirme sayısı $\{(n*n)-n\}/2$ olacaktır.

İkili karşılaştırma matrisinde öncelik vektörü elde edilir. Öncelik vektörü matrisin asıl özvektörüdür. Niteliksel özelliklere verilen ağırlıklar olarak ifade edilen karar öncelikleri, ikili karşılaştırmalar matrisinin özvektörü olarak tanımlanır. Özvektör yardımıyla kriterin göreceli önemi en alt kriterden en üst kritere kadar belirlenmektedir.

AHY’de bütün karar verme sürecinin ve hiyerarşisinin tutarlılık derecesi de hesaplanabilmektedir. Bu oran bütün karar verme sürecinin tutarlılık ölçüsünü de verir. Bu orana bakarak hiyerarşinin geçerliliği hakkında bilgi edinmek mümkündür. AHY’nin sağladığı en önemli yararlarından birisi, bu yöntemin ikili karşılaştırmaların tutarlılık derecesini ölçebilmesidir. Tutarlılık Oranı (consistency ratio) (TO) adı verilen bu ölçü, ikili karşılaştırmalardaki yanlış değerlendirmelerin tespit edebilmesine imkân verir. TO için kabul edilebilir üst sınır değeri 0,10’dur. TO 0,10’dan büyükse karar vericinin karşılaştırmalarını tekrar gözden geçirmesi gerekmektedir (Yalçın, 2005).

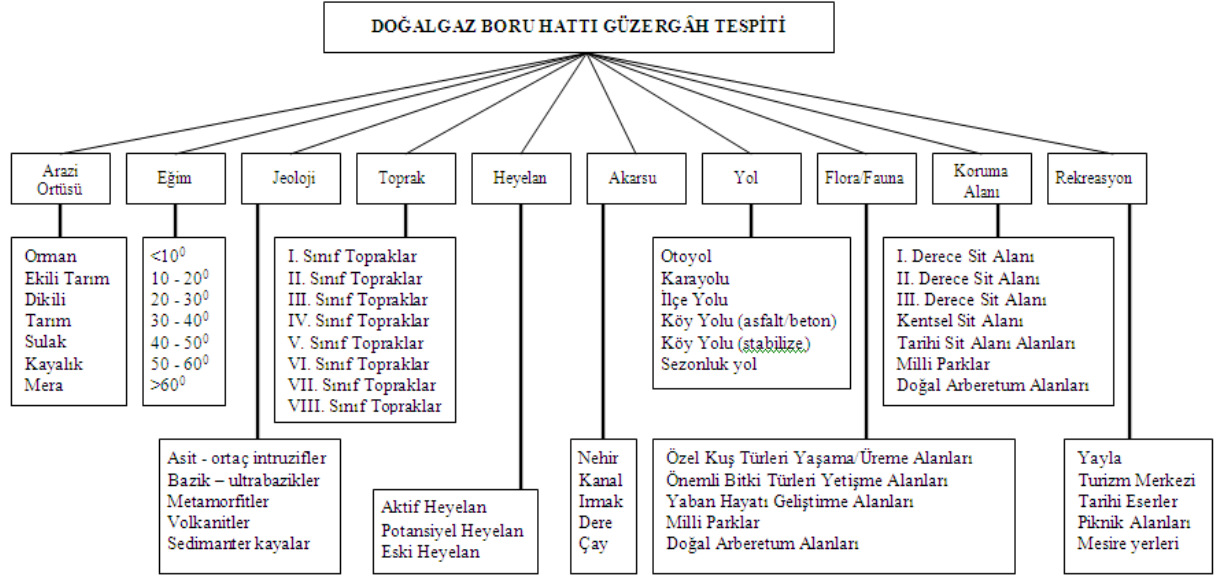
Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda, DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin ağırlıklarının AHY ile belirlenmesi sürecinde izlenen işlem adımları aşağıda açıklanmıştır:

- DGİH Güzergâh Planlaması İçin Hiyerarşinin Kurulması,
- AHY ile Önceliklerin Belirlenmesi,
- İkili Karşılaştırma Matrisleri,
- Faktör Ağırlıkları.

2.2.5.1. DGİH Güzergâh Planlaması İçin Hiyerarşinin Kurulması

AHY’de ilk aşama: genel amaç, kriterler ve karar alternatiflerine göre problemin grafiksel bir akış semasının oluşturulmasıdır. Boru hattı güzergâh planlaması için

oluşturulan hiyerarşi Şekil 2.14. de gösterilmiştir. Hiyerarşinin ilk düzeyi, genel amacın boru hattı güzergâhının belirlenmesi olduğunu göstermektedir. İkinci düzeydeki on adet kriter (arazi örtüsü, eğim, jeoloji, toprak, heyelan, akarsu, yol, flora/fauna, koruma alanı, rekreasyon) genel amaca ulaşmaya katkıda bulunacaktır. Üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi (sınıflandırılmış alt kriterler) ise her bir kritere göre değerlendirilecektir.



Şekil 2.14. DGİH güzergâh tespiti için oluşturulan hiyerarşi

2.2.5.2. AHY ile Önceliklerin Belirlenmesi

AHY’de kullanılan kriterlerin ve karar alternatiflerine yönelik olarak önceliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ikili karşılaştırmalardan yararlanılmıştır. DGİH güzergâh tespiti için belirlenecek öncelikler şunlardır:

- Genel amaca göre on adet kriterin öncelikleri,
- Arazi örtüsü parametresinin öncelikleri,
- Eğim parametresinin öncelikleri,
- Jeoloji parametresinin öncelikleri,
- Toprak parametresinin öncelikleri,
- Heyelan parametresinin öncelikleri,
- Flora/Fauna parametresinin öncelikleri,

- Koruma alanları parametresinin öncelikleri,
- Akarsu parametresinin öncelikleri,
- Yol parametresinin öncelikleri,
- Rekreasyon parametresinin öncelikleridir.

2.2.5.3. İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Faktör Ağırlıklarının Hesaplanması

İkili karşılaştırmalar, AHY'nin önemli bileşenlerinden birisidir. DGİH güzergâhının belirlenmesinde kullanılan parametrelerin ağırlıkları, parametrelerin ikişerli karşılaştırılması ve bunların birbirine göre güzergâh tespitine yapacağı etki göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Normal olarak, iki parametrenin birbirine göre alacağı değeri belirleme, karar vericinin tercihinine bağlı bir durumdur. Bu çalışmada, hem parametrelerin birbirine göre olan karşılaştırmalarında, hem de karar alternatiflerinin yani parametrelerin alt kriterlerinin etki değerlerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde mevcut uygulama çalışmaları, bilimsel araştırmalar ve boru hattı güzergâh belirleme çalışmalarında hazırlanan Çevre Etki Değerlendirme (ÇED) raporları irdelenmiştir. Ayrıca Türkiye'de boru hattı faaliyetleri gerçekleştiren BOTAŞ firmasındaki ilgili uzman kişilerle yapılan mülakatlar ve ÇMY faaliyetleri gerçekleştiren kurum ve kuruluşlardaki uzman ve tecrübeli kişilerle yapılan görüşmeler sonucu elde edilen bulgular bu süreçte esas alınmıştır. Ayrıca bugüne kadar gerçekleştirilen DGİH yapım faaliyetleri irdelenmiş ve bunun sonucunda faktörlerin birbirine göre önem derecesi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu ağırlık değerlerinin doğru sonuç verip vermediği; gerçekleştirilen uygulama çalışmalarında konumsal analizler, sorgulamalar ve maliyet değerlendirmeleri yapılarak irdelenmiştir (Yildirim vd, 2008; Yıldırım and Yomralioglu, 2007). Güzergâhları klasik yöntemlerle belirlenmiş doğalgaz boru hatları, oluşturulan bu raster tabanlı güzergâh belirleme modeli ile optimize edilmiş ve çıkan sonuçlar arazi üzerindeki gerçek veriler ile karşılaştırılarak ağırlık değerleri test edilmiştir (Yildirim vd, 2008). Çıkan sonuçlar ve istatistiksel bulgular bu yöntemle belirlenen ağırlık değerlerinin gerçek arazi verileri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisinden alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu işlem AHY'de sentezleme olarak adlandırılır ve matematiksel olarak özdeğer ve özvektör hesaplamalarını içerir.

Bu tez çalışmasında boru hatları güzergâh planlaması için belirlenen faktör sayısı 10'dur. Bu faktörlerin yanı sıra kesin engeller de güzergâh planlamasında sürece dahil edilmiştir.

İlk olarak DGİH güzergâhına etki eden temel faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Hangi katmanın ne kadar etki değerinin olduğunu belirlemek için katmanlar arasında AHY'de ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 2.6). Oluşturulan bu matris ile katmanların her birinin DGİH güzergâh tespitindeki ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan işlemlerin anlamlılığının ortaya konulması için veri katmanlarına ait tutarlılık oranı bulunmuştur.

Tablo 2.6. Veri katmanlarının DGİH güzergâh planlamasına etki değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	Ağırlıklar
A	1	1	2	3	4	7	8	5	6	9	0,256
B	1	1	1	2	3	6	7	4	5	8	0,205
C	1/2	1	1	1	2	5	6	3	4	7	0,156
D	1/3	1/2	1	1	1	4	5	2	3	6	0,116
E	1/4	1/3	1/2	1	1	3	4	1	2	5	0,084
F	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1	1	1/2	1	2	0,033
G	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1	1	1/3	1/2	1	0,025
H	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	1	1	4	0,061
I	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	1	1	3	0,044
K	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/2	1	1/4	1/3	1	0,020
TO: 0,0136 < 0,10											

A: Arazi Örtüsü, B:Eğim, C:Jeoloji, D:Toprak, E: Heyelan, F:Akarsu, G:Yol, H:Flora/Fauna, I:Koruma Alanı, K:Rekreasyon ,

DGİH güzergâh planlamasında veri katmanlarına ait ağırlık değerleri incelendiğinde (Tablo 2.5), güzergâha etki eden faktörler arasında arazi örtüsü, eğim, jeoloji, toprak ve heyelan faktörlerinin daha etkin olduğu görülmektedir. Flora-fauna geçişleri, koruma alanı, akarsu ve yol geçişleri ile rekreasyon alanı geçişlerinin bu faktörlere göre etki değerleri daha azdır. Bu etki değerlerinin doğruluğunu test etmek için TO hesaplanmış ve 0,0136 değeri bulunmuştur.

AHY' de ikili karşılaştırmalarla önceliklerin ortaya konulmasından sonra elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle yapılan işin niteliği de ortaya çıkmaktadır. Verilen hükümlerin birbirini destekleyip desteklemediği, yani anlamlı olup olmadığı belirlenebilmektedir. AHY' de bu işlem TO ile ortaya konmaktadır. TO'nun hesaplamasındaki işlem sırası aşağıda verilmiştir:

$$\lambda_{\max} = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) / n \quad (1)$$

$\lambda_{\max}$: En büyük özdeğer

$a_1, a_2, \dots, a_n$: Ağırlıklandırılmış toplam vektörün öncelik değerlerine oranı

n : Eleman sayısı'dır.

En büyük özdeğer ve karşılaştırılan eleman sayısı değerleri kullanılarak tutarlılık göstergesi elde edilir.

$$TG = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (2)$$

TG : Tutarlılık göstergesi,

n : karşılaştırılan parametre sayısı'dır.

TO aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır:

$$TO = TG / RG \quad (3)$$

TO : Tutarlılık oranı,

RG : Rastgele gösterge değeri'dir.

Rastgele indeks (Rİ) değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına (n) bağlı olarak Tablo 2.7'deki değerleri alır (Yalçın, 2005).

Tablo 2.7. Eleman sayısına göre rastgele indeks değeri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rİ	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Üretilen ikili karşılaştırmalar matrisinin ağırlıklandırılmış toplam vektörünün öncelik değerlerine bölünmesiyle elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması ile maksimum özdeğer bulunur (Saaty, 1989).

Bu hesaplamalar sonucunda, yapılan işlemlerin kabul edilebilir olması için elde edilen TO değerlerinin 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen TO değerleri 0,10'dan küçük bulunmuştur.

DGİH güzergâhına etki eden her bir faktör için, alt kriter ağırlıkları aşağıda sırayla açıklanmıştır:

a- Arazi Örtüsünün Güzergâha Etki Değerleri: Arazi örtüsü genel olarak yedi sınıfa ayrılmıştır. Bunlar, etki değerlerine göre sırasıyla, yerleşim alanları, kayalık alanlar, sulak

alanlar, ormanlık alanlar, dikili tarım alanları, ekili tarım alanları ve mera alanlarıdır. Yerleşim alanları, petrol ya da doğalgaz iletim hatları için önemli risk parametrelerinden biridir. Kayalık alanlar yapım maliyeti açısından geçişi zor olan alanlardır. Çoğu yerde patlayıcı maddeler kullanılmasını, yoğun işgücü harcanmasını ve proje için ek ekonomik külfet gerektirir (Heyne, 2001). Bu nedenle boru hattı geçişleri için tercih edilmez. Boru hatlarının sulak alanlardan geçmesi ayrı bir tasarım gerektirir. On-Shore yani karasal boru hatlarında büyük sulak alanlar (göl, gölet, baraj gölü, iç deniz) kesin engel olarak sürece dahil edilmektedir. Sulak alanlar özellikle altyapı tesislerinin kolay çürümesi açısından riskli geçiş sağlar (Osakuni ve Abam, 2004). Orman alanları kendi içinde çok farklı türlere ayrılmasına rağmen, genel anlamda geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık olmak üzere üç sınıf altında gruplandırılabilir (Reis, 2003). Geçiş maliyeti ve ekolojik denge açısından geçişin sorunlu olduğu alanlardandır (Gutierrez vd., 2002). Ekili ve dikili tarım alanları geçişin kolay olacağı alanlardır. Fakat, geçim kaynağı tarım olan insanlar açısından (sosyolojik) olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Dey, 2002). Mera alanları ise DGİH güzergâh geçişinde uygun alanlardandır (Valdes, 2005). Bu irdelemeler ışığında arazi örtüsü alt kriterleri ağırlıkları hesaplanmış ve Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. Arazi örtüsü verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F	G	Ağırlıklar
A	1	3	2	1/2	1/3	4	1/5	0.096
B	1/3	1	1/2	1/3	1/5	2	1/8	0.043
C	1/2	2	1	1/3	1/4	3	1/7	0.063
D	2	3	3	1	1/2	5	1/5	0.134
E	3	5	4	2	1	7	1/2	0.226
F	1/4	1/2	1/3	1/5	1/7	1	1/9	0.028
G	5	8	7	5	2	9	1	0.411

TO: 0,0247 < 0,10

A: Orman, B:Ekili Tarım, C:Dikili Tarım, D:Sulak Alanlar, E:Kayalık Alanlar, F:Mera, G:Yerleşim

b- Eğim Gruplarının Güzergâha Etki Değerleri: Eğim veri katmanının alt kriterlerinin DGİH güzergâh planlamasındaki etkisini belirlemek için eğim değerleri 7 farklı gruba ayrılmış ve her bir grubun ağırlık değeri ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak bulunmuştur (Tablo 2.9). Eğim gruplarının tutarlılık oranları 0.010 gibi çok küçük bir değer çıkmıştır. Bunun nedeni, boru hattı güzergâhının eğim değeri küçük olan alanlardan geçmesinin daha uygun olacağı gerçeğidir (Jones ve Barron, 2001). Eğim değeri ne kadar artarsa boru hattı yapım, işletim, bakım ve sürdürülebilirlik faaliyetleri o kadar zorlaşmaktadır. Bunun yanı sıra eğim değeri yüksek olan alanlar, doğal afetler için bir

potansiyel teşkil eder (Çevik ve Topal, 2003). Ayrıca eğim değeri yüksek olan alanlarda boru hattı faaliyetlerine imkân sağlayacak yan mühendislik hizmetlerinin gerçekleştirilmesi de zordur.

Tablo 2.9. Eğim verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F	G	Ağırlıklar
A	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/9	0,031
B	2	1	1	1/2	1/3	1/4	1/6	0,060
C	3	1	1	1	1/2	1/3	1/5	0,081
D	4	2	1	1	1	1	1/4	0,124
E	5	3	2	1	1	1	1/3	0,152
F	6	4	3	1	1	1	1/2	0,185
G	9	6	5	3	3	2	1	0,367
TO: 0,0108 <0,10								
A: <10 ⁰ , B:10–20 ⁰ , C:20–30 ⁰ , D:30–40 ⁰ , E:40–50 ⁰ , F:50–60 ⁰ , G:>60 ⁰								

c- Litolojik Birimlerin Güzergâha Etki Değerleri: Jeoloji veri katmanı DGİH güzergâhına %16'lık bir ağırlıkla etki etmektedir. Normal şartlarda uygulama çalışması gerçekleştirilecek alanda çok sayıda litolojik birim bulunabilir. Bu birimlerin kendi içinde sınıflandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan sınıflandırmada MTA genel müdürlüğünün ürettiği genel jeoloji haritasındaki sınıflandırma dikkate alınmıştır (Tablo 2.10). Bu sınıflandırmada kayaç türleri beş sınıfa ayrılmıştır: asit-ortaç intruzifler, Bazik-ultrabazikler, metamorfitler, volkanitler ve sedimanter kayalar (MTA, 2002).

Tablo 2.10. Jeoloji verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1	2	5	8	9	0,473
B	1/2	1	3	6	7	0,288
C	1/5	1/3	1	4	6	0,149
D	1/8	1/6	1/4	1	2	0,054
E	1/9	1/7	1/6	1/2	1	0,036
TO: 0,0443 < 0,10						

A:Asit-ortaç Intruzifler B:Bazik-ultrabazikler C:Metamorfitler D:Volkanitler E:Sedimanter kayalar

d- Toprak Gruplarının Güzergâha Etki Değerleri: Ülkemizde kullanılan en önemli arazi sınıflama sistemleri DSİ ve Tarım Bakanlığı tarafından ülkemizde uygulaması yapılan Arazi Kullanma Kabiliyet Sınıflaması (AKK) ya da sulama yatırımlarının planlanmasında kullanılan Sulu Arazi Tasnifi (SAT) sistemidir. AKK sisteminde araziler I'den VIII'e kadar sınıflanmıştır. AKK sınıflamasında ilk dört sınıfa giren arazilerin toprak işlemeli tarıma uygun, diğer arazilerin ise uygun olmadığı kabul edilmektedir. AKK

sınıflamasında I. ve II. sınıf araziler ile III. sınıf arazilerin bir kısmı Mutlak Tarım Arazilerinin içine girebilir (Anonim, 2002). Bu bağlamda AKK değerlerin göre ilgili sınıfların güzergâha etki değerleri Tablo 2.11’de gösterilmiştir.

Tablo 2.11. Toprak verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F	G	H	Ağırlıklar
A	1	1	2	3	4	6	7	9	0,269
B	1	1	1	3	5	6	7	8	0,251
C	1/2	1	1	2	3	5	6	7	0,193
D	1/3	1/3	1/2	1	1	3	4	6	0,104
E	1/4	1/5	1/3	1	1	2	3	5	0,081
F	1/6	1/6	1/5	1/3	1/2	1	1	4	0,045
G	1/7	1/7	1/6	1/4	1/3	1	1	3	0,037
H	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1	0,020
TO: 0,0278 < 0,10									

A:I. Sınıf, B:II.Sınıf, C:III.Sınıf, D:IV.Sınıf, E:V.Sınıf, F:VI.Sınıf, G:VII.Sınıf, H:VIII.Sınıf

e- Heyelan Alanlarının Güzergâha Etki Değerleri: DĞİH projelerinin büyük bir bölümünün güzergâh tespiti çalışmalarında heyelan faktörü önemli yer tutmaktadır. Sadece heyelan faktörü ve alt kriterleri kullanılarak birçok güzergâh belirleme çalışması yapılmıştır (Qingwen vd., 2006; Çevik ve Topal, 2003). Boru hattı güzergâh belirleme çalışmalarında da heyelan önemli faktörlerden biridir. Bazı kaynaklarda (uygulamanın cinsine, yerine ve beklenen sonuçlarına göre) bütün heyelan alt kriterleri ya da heyelan faktörü engel olarak gösterilmiştir (Dey vd., 2006). DĞİH çalışmaları genelde 20 m lik bir koridor içinde yapıldığından ve gelişmiş teknolojik araçlarla çok etkili koruma yapıları inşa edilebildiğinden günümüzde engel olmaktan çıkmıştır. Bu çalışmada yapılan sınıflandırmada heyelan faktörünün alt kriterlerinin güzergâh planlamasındaki etkilerini belirleyebilmek için üç sınıf tanımlanmış (Reis, 2003) ve bunlar ikili karşılaştırma matrisinde irdelenerek ağırlık değerleri belirlenmiştir (Tablo 2.12). Geçişin en zor olduğu alanlar aktif heyelan alanlarıdır. Potansiyel heyelan alanlarının ve eski heyelan alanlarının ağırlık değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 2.12. Heyelan verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	Ağırlıklar
A	1	3	5	0,633
B	1/3	1	3	0,260
C	1/5	1/3	1	0,106
TO: 0,0334 < 0,10				

A: Aktif Heyelan Alanları, B:Potansiyel Heyelan Alanları, C:Eski Heyelan Alanları

f- Flora – Fauna: DGİH projelerinde, çevresel etki değerlendirme raporlarının hazırlanması ile ilgili yönetmeliğe göre (Anonim, 2003), flora ve fauna alanlarının korunması ve zarar görmemesi gerekmektedir. Uluslararası çapta birçok ÇMY projesi başlangıçta flora ve fauna altlığının hazırlanmamasından dolayı durmuş, yön değiştirmiş ya da ek yapım maliyetleri gerektirmiştir. Bakü Ceyhan Petrol (BTC) Boru Hattı'nın Posof civarında “Dağ Horozu” üreme alanlarının bulunması nedeniyle üç yıllık süre içinde belirli mevsimlerde çalışmalar durdurulmuştur (URL-10, 2008). Gürcistan'da bu yüzden boru hattının güzergâhı değiştirilerek, “Dağ Horozunun” yaşam alanlarından hattın geçmesi önlenmiştir. BTC boru hattının yaklaşık 5 km'lik bir alanında, “Blackgrouse” (Kara Tavuk) kuş türünün yaşama ve üreme alanı olduğu tespit edilmiştir. Bu alandaki inşaat faaliyetleri Blackgrouse'un üreme dönemi olan Nisan-Ağustos ayları içerisinde durdurulmuştur. Bu durum beraberinde ekonomik külfet getirmiş ve boru hattı tahmin edilen süreden 4 ay gecikmeli olarak bitirilebilmiştir (URL-11, 2006). Flora-Fauna alt kriter ağırlıkları Tablo 2.13'de hesaplanmıştır.

Tablo 2.13. Flora – Fauna verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F	Ağırlıklar
A	1	2	3	7	5	4	0,378
B	1/2	1	2	6	5	4	0,275
C	1/3	1/2	1	3	2	1	0,122
D	1/7	1/6	1/3	1	1/3	1/4	0,038
E	1/5	1/5	1/2	3	1	1/2	0,072
F	1/4	1/4	1	4	2	1	0,114
TO: 0,0272 < 0,10							

A: Kuş Türü Yaşama ve Üreme Alanları, B:Önemli Bitki Türleri, C:Yaban Hayatı Geliştirme Alanları, D:Milli Parklar, E:Doğal Arboretum Alanları, F:Tropik Alanlar

g- Koruma Alanı: Milli parklar, tabiat parkları, tabiat anıtları ve tabiat koruma alanları, yaban hayatı koruma sahaları ve yaban hayatı yerleştirme alanları, kültür varlıkları, tabiat varlıkları, sit ve koruma alanları, su ürünleri istihsal ve üreme alanları gibi alanlar ÇED yönetmeliği ile korunması gereken alanlar arasında gösterilmiştir (Anonim, 2003) Çevresel hassasiyetlerin ve ekolojik dengenin korunması için koruma alanları faktörünün alt kriterlerinin irdelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda I., II., ve III. derece sit alanları, kentsel sit alanları ve tarihi sit alanları olarak belirlenen alt faktörlerin DGİH güzergâhına etki değerleri ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 2.14).

Tablo 2.14. Koruma alanı verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1	4	6	7	1	0,407
B	1/4	1	2	3	1/3	0,129
C	1/6	1/2	1	2	1/4	0,079
D	1/7	1/3	1/2	1	1/5	0,052
E	1	3	4	5	1	0,333
TO: 0,0290<0,1						

A:I.Derece Sit Alanı, B:II.Derece Sit Alanı, C:III. Derece Sit Alanı, D:Kentsel Sit Alanı, E:Tarihi Sit Alanı

h- Akarsu: Boru hattı güzergâhlarının akarsulardan geçmesinin; projenin maliyeti, sürdürülebilirliği, bakımı ve işletilmesi açısından önemli sonuçları vardır. Boru hatlarının akarsulardan geçiş çalışmaları sadece balık habitatının kimyasal ve fiziksel bozulmamışlıklarına zarar vermez, aynı zamanda biyolojik habitatı ve balıkların davranış ve psikolojilerini de etkiler (Levesque ve Dube, 2007). Gelişmiş ülkelerde yapılan bazı uygulamalarda, boru hatları, ekosistem dengesini bozmaması için akarsu üzerinden ek yapılarla asma köprüler ile geçirilmektedir. Ayrıca akarsu içinden geçirilecek boru hatları ek yapılar nedeniyle ekonomik maliyeti artırmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı akarsu faktörü DGİH güzergâh planlama çalışmalarında dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada akarsuyun debisi, yatak genişliği ve uzunluğu gibi faktörler dikkate alınarak yukarıda sayılan etkenler doğrultusunda alt kriterler oluşturulmuş ve bu kriterlerin ağırlıkları ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak bulunmuştur (Tablo 2.15). Bu aşamada öngörü, DGİH'nın küçük bir akarsudan geçirilmesinin ortaya çıkardığı zorlukla, büyük bir nehirden geçirilmesinin ortaya çıkardığı zorluğun karşılaştırılmasıdır. Sonuç olarak bir nehirden geçiş ile küçük bir çaydan geçiş arasında fark olacağı gerçeği tabloda çıkan ağırlık değeriyle örtüşmektedir.

Tablo 2.15. Akarsu verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1	7	2	3	5	0,444
B	1/7	1	1/5	1/3	1/2	0,053
C	1/2	5	1	2	3	0,262
D	1/3	3	1/2	1	2	0,153
E	1/5	2	1/3	1/2	1	0,089
TO: 0,0063 < 0,10						

A:Nehir, B:Kanal, C:İrmak, D:Dere, E:Çay

i- Yol: Yol geçişleri DGİH yapım maliyetlerini artırmaktadır (URL-12, 2009). Yol geçişi veri katmanının alt kriterlerinin DGİH güzergâh planlamasındaki etkisini belirlemek için yollar 6 farklı gruba ayrılmış ve her birinin ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2.16). Stabilize kaplı köy yolları ve sezonluk (mevsimlik) yollar geçiş zorluğu en az olan yollardır. Trafik akış yoğunluğu az olması, sanat yapılarının yapılmamış olması ve üst kaplamasının olmayışı geçişi kolaylaştıran etkenlerdir. Buna karşın otoyollar geçiş zorluğu en zor olan yollardır. Otoyol geçişinin DGİH maliyetini arttırmasının yanı sıra herhangi bir olumsuzlukta ortaya çıkacak risklerin büyük olmasından dolayı, bazı çalışmalarda kesin engel olarak da değerlendirilmektedir (URL-13, 2008).

Tablo 2.16. Yol verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F	Ağırlıklar
A	1	3	5	7	8	9	0,486
B	1/3	1	2	3	5	7	0,222
C	1/5	½	1	1	3	5	0,121
D	1/7	1/3	1	1	2	3	0,090
E	1/8	1/5	1/3	½	1	1	0,044
F	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1	0,037
TO: 0,0238 < 0,10							

A:Otoyol, B:Karayolu, C:İlçe Yolu, D:Köy Yolu (asfalt), E:Köy Yolu (stabilize), F:Sezonluk Yol

k- Rekreasyon (Kültür Turizm): Rekreasyon alanları sosyolojik anlamda yanıcı ve tehlikeli madde ileten DGİH geçişleri için riskli alanlar arasında gösterilmektedir (URL-8, 2009). Halk kullanımına açık bu alanlarda DGİH geçişi yapılmaması gerekmektedir. Bu bağlamda rekreasyon alanları için belirlenen 5 alt kriterle ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2.17).

Tablo 2.17. Rekreasyon verisinin alt kriter ağırlıkları

	A	B	C	D	E	Ağırlıklar
A	1	1/7	1/9	1/2	1/5	0,039
B	7	1	1/2	4	2	0,262
C	9	2	1	7	5	0,492
D	2	1/4	1/7	1	1/2	0,069
E	5	1/2	1/5	2	1	0,138
TO: 0,0167 < 0,10						

A:Yayla, B: Turizm Merkezi, C:Tarihi Eserler, D:Piknik Alanları, E:Mesire Alanları

Raster tabanlı güzergâh planlama modelinde, ilk aşama güzergâha etki edecek faktörlerin belirlenmesidir. Faktörler belirlenip, ilgili veri katmanları oluşturulduktan sonra ikinci aşamada bu faktörlerin ve alt kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, klasik yöntemlerle gerçekleştirilen güzergâh belirleme çalışmalarında dikkate alınan kriterler, deneyimli ve uzman kişilerin görüşleri, yasal prosedürler ve gelişmiş ülkelerde gerçekleştirilen uygulamalar bir bütün içinde irdelendikten sonra faktör ağırlıklarını belirleme süreci başlatılmıştır. Bu süreçte en önemli işlem adımı DGİH yapan/yaptıran kurum ve kuruluşlarda gerçekleştirilen mülakat çalışmalarıdır. Bu mülakatların sonuçları ve literatür çalışmaları ile desteklenen faktör ağırlığı belirleme süreci sonucunda DGİH güzergâh tespitine etki faktör ve alt kriter ağırlıkları AHY ile belirlenmiştir.

Raster tabanlı güzergâh planlama modelinde, gerekli faktörler tespit edilip uygun bir şekilde ağırlıklandırıldıktan sonra güzergâh üzerinde bazı sınırlandırmaların da getirilmesi gerekmektedir. Bu sınırlandırmalar herhangi bir ağırlık değeri almaz, engel olarak tanımlanır. Güzergâh planlamada, geçişin kesinlikle yasak olduğu alanlar kesin engeller (absolute barrier) ve geçişin zor da olsa mümkün olabileceği alanlar göreceli engeller (relative barrier) olarak tanımlanmaktadır.

Boru hatları için oluşturulan bu güzergâh planlama modelinde göreceli engeller, geçiş zorluklarına göre ağırlık değerleri atanarak modellenmiştir. Örneğin bir akarsu geçişinde, debisi yüksek ve yatağı geniş olan bir nehir geçişi diğer küçük akarsu geçişlerine göre yüksek bir ağırlık değeri verilerek modellenmiştir. Modelin uygulandığı algoritma bu ağırlık değerlerine göre geçişi imkansız olmayan ama zor olarak ifade edilen alanları piksel değerlerine göre algılamakta ve güzergâhı ona göre belirlemektedir.

Kesin engeller DGİH projesinin bütününden beklenen faydalar doğrultusunda kullanıcılar tarafından belirlenmektedir. Oluşturulan bu raster tabanlı güzergâh planlama modelinde yerleşim bölgeleri aktif heyelan alanları, sulak alanlar ve fay hatları kesin engel olarak belirlenmiş ve ağırlıkları “∞” ile tanımlanarak modellenmiştir (Tablo 2.18).

2.2.6. Piksel Tabanlı Maliyet Katmanının Oluşturulması

Raster tabanlı DGİH güzergâh belirleme modelinde sonuç güzergâh ya da koridor, yüzey üzerinde piksellere denk gelen sürtünme ya da direnç değerlerinin belirlendiği maliyet altlıkları üzerinden oluşturulur. Buradaki “maliyet” ifadesi, piksele ait geçiş değeri,

sürtünme değeri, direnç ya da geçiş zorluğunu ifade etmektedir. Maliyet altlıklarının oluşturulabilmesi için gerçekleştirilen işlem adımları aşağıda açıklanmıştır;

Tablo 2.18. DĞİH güzergâhına etki eden faktör ve alt kriter ağırlıkları

Katmanlar / Alt Kriterler	Ağırlıklar	Tutarlılık Oranı
ARAZİ ÖRTÜSÜ	0.256	0.0247
Orman	0.096	
Ekili Tarım	0.043	
Dikili Tarım	0.063	
Sulak Alanlar	0.134	∞
Kayalık Alanlar	0.226	
Mera	0.028	
Yerleşim	0.411	∞
EĞİTİM	0.205	0.0108
<10 ⁰	0.031	
10 - 20 ⁰	0.060	
20 - 30 ⁰	0.081	
30 - 40 ⁰	0.124	
40 - 50 ⁰	0.152	
50 - 60 ⁰	0.185	
>60 ⁰	0.367	
JEOLJİ	0.156	0.0443
Asit - ortaç intruzifler	0.473	
Bazik – ultrabazikler	0.288	
Metamorfitletler	0.149	
Volkanitler	0.054	
Sedimanter kayalar	0.036	
TOPRAK	0.116	0.0278
I. Sınıf Topraklar	0.269	
II. Sınıf Topraklar	0.251	
III. Sınıf Topraklar	0.193	
IV. Sınıf Topraklar	0.104	
V. Sınıf Topraklar	0.081	
VI. Sınıf Topraklar	0.045	
VII. Sınıf Topraklar	0.037	
VIII. Sınıf Topraklar	0.020	
HEYELAN	0.084	0.0334
Aktif Heyelan Alanları	0.633	∞
Potansiyel Heyelan Alanları	0.260	
Eski Heyelan Alanları	0.106	
AKARSU	0.033	0.0063
Nehir	0.444	
Kanal	0.053	
İrmak	0.262	
Dere	0.153	
Çay	0.089	
YOL	0.025	0.0238
Otoyol	0.486	
Karayolu	0.222	
İlçe Yolu	0.121	
Köy Yolu (asflat/beton kaplama)	0.090	
Köy Yolu (stabilize)	0.044	
Sezonluk yol	0.037	
FLORA/FAUNA	0.061	0.0272

Tablo 2.18'in devamı

Özel Kuş Türleri Yaşama/Üreme Alanları	0.378	
Önemli Bitki Türleri Yetiştirme Alanları	0.275	
Yaban Hayatı Geliştirme Alanları	0.122	
Milli Parklar	0.038	
Doğal Arboretum Alanları	0.072	
Tropik Alanlar	0.114	
KORUMA ALANI	0.044	0.0290
I. Derece Sit Alanı	0.407	
II. Derece Sit Alanı	0.129	
III. Derece Sit Alanı	0.079	
Kentsel Sit Alanı	0.052	
Tarihi Sit Alanı	0.333	
REKREASYON	0.020	0.0167
Yayla	0.039	
Turizm Merkezi	0.262	
Tarihi Eserler	0.492	
Piknik Alanları	0.069	
Mesire yerleri	0.138	
FAY HATLARI	∞	

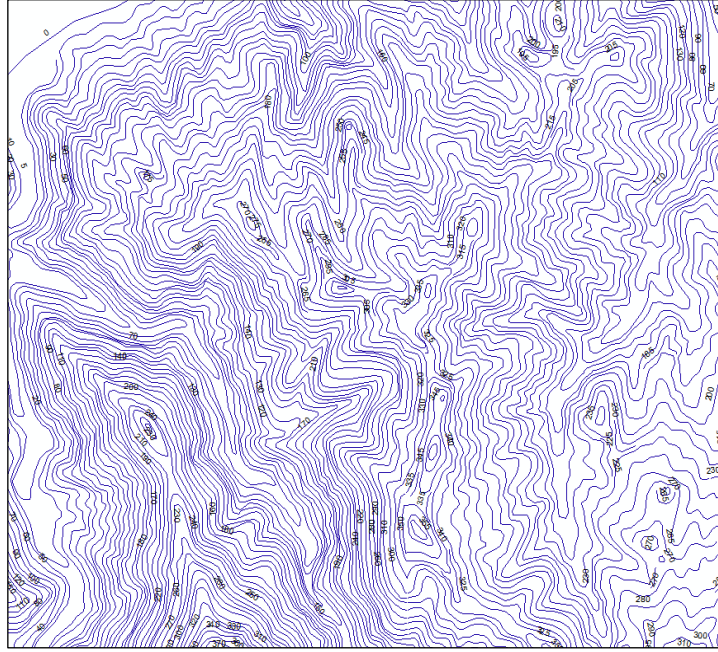
2.2.6.1. Piksel Boyutunun Belirlenmesi

CBS uygulamalarında raster veri modeli kullanılması durumunda, piksel boyutunun belirlenmesi öncelik arz etmektedir. Raster gösterimlerde hassasiyet piksel boyutuna göre değişen ayırma ya da çözünürlük gücü ile ölçülmektedir. Bir görüntü için piksel boyutu bilgisayar veya fotoğraf ortamında mikron biriminde ölçülürken, gerçekteki boyutu metre ya da santimetre biriminde ölçülebilir. Piksellerin gerçekteki boyutuna yersel çözünürlük denilmektedir (Yomralıoğlu, 2000).

Oluşturulan bu modelde, özellikle veri ölçeğine bağlı olarak piksel boyutunun kullanıcı tarafından belirlenmesi öngörülmektedir. Örneğin, 1/100.000 ölçeğinde elde edilmiş veriler için piksel boyutunu 1 m belirlemek gereksiz hafıza kayıplarına ve işlem süresinin uzun olmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda harita ölçeğinin ayırma gücüne, projenin uzunluğuna ve çalışma koridoru genişliğine göre uygun piksel boyutuna karar verilmelidir. Türkiye’de gerçekleştirilen, büyük doğalgaz projelerinde 1/100.000 ölçekli haritalar üzerinden kaba güzergâhlar belirlenmekte ve bu güzergâhlar 1/25.000 ölçekli haritalar üzerinden kesinleştirilmektedir. Bu uygulamalarda koridor genişliği genelde 20-30 m olarak belirlenmektedir.

2.2.6.2. Raster Veri Formatına Dönüşüm

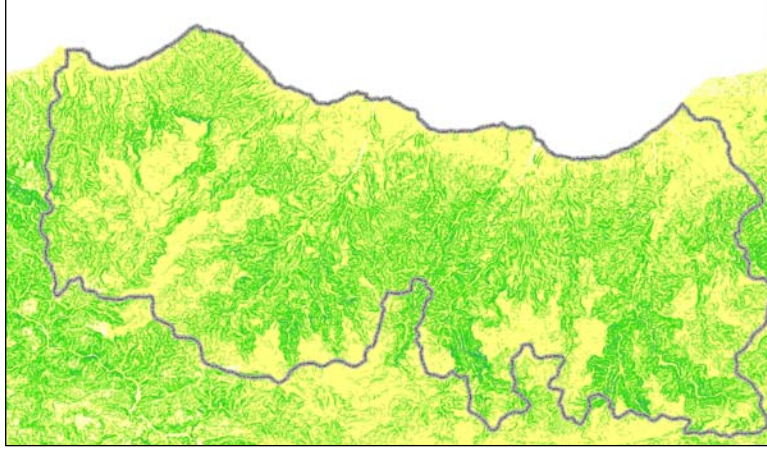
Raster tabanlı güzergâh planlama modelinde kullanılacak veriler, veri kaynağından direkt raster formatında elde edilebileceği gibi vektör formatında da elde edilebilir (Şekil 2.15). Bu tür verilerin belirlenen piksel boyutuna göre raster veri formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda oluşturulan bütün veri katmanları ortak bir referans siteminde raster formata dönüştürülür ve raster veri setleri olarak veritabanında tutulur.



Şekil 2.15. Vektör formatında elde edilen yükseklik verisi

2.2.6.3. Alt Kriterlerin Zorluk Derecelendirmesi (Sınıflandırma)

Veri katmanlarına ait alt kriterlerin boru hattı geçişleri için oluşturacağı zorlukların belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ağırlık değerleri Tablo 2.18’de gösterilen bilgiler doğrultusunda veri katmanları sınıflandırma işlemine tabi tutularak her bir alt faktöre karşılık gelen pikseller oluşturulur (Şekil 2.16). Bu sınıflandırma sürecinde, hem bir genelleştirme yapılır hem de alt faktör ağırlıkları sürece katılır. Örneğin eğim değeri 0 ile 10 arasında olan alanlar aynı geçiş zorluğuna sahip oldukları için tek bir özellik haline getirilmiş ve zorluk derecesi olarak 0,031 değeri tanımlanmıştır.



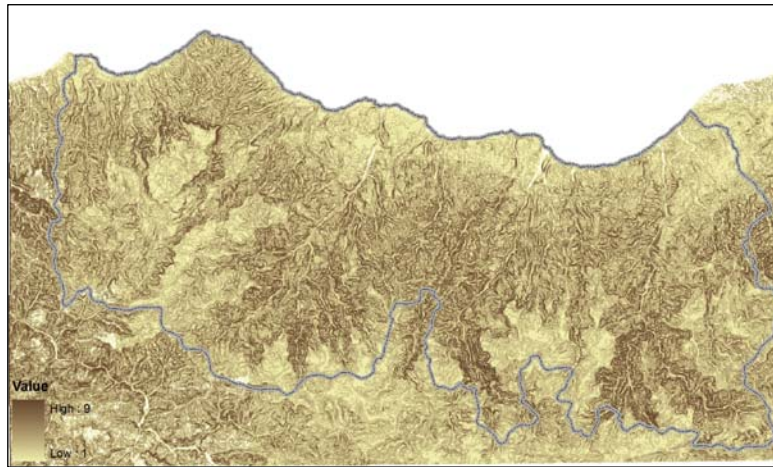
Şekil 2.16. Eğim alt kriterlerine göre sınıflandırılmış yükseklik veri katmanı

2.2.6.4. Piksel Tabanlı Ağırlıklandırılmış Maliyet Yüzeyinin Oluşturulması

Bir sonraki işlem adımında, her katman için ayrı ayrı oluşturulan veri katmanları piksel tabanlı aritmetik işlemlere tabi tutularak ağırlıklandırılmış maliyet yüzeyi oluşturulur. Her bir katman için olması gereken ağırlık değerleri Tablo 2.18’de gösterilmiştir. Bu maliyet yüzeyinde piksellerin aldığı değer, yüzey üzerinden o alana ait toplam geçiş maliyetini ifade etmektedir (Şekil 2.17).

$$P_w : P_i * W_i \quad (4)$$

P_w : Ağırlıklandırılmış katman
 P_i : i veri katmanı pikseli
 W_i : i veri katmanı ağırlık değeri



Şekil 2.17. Ağırlıklandırılmış maliyet yüzeyi

2.2.6.5. Sonuç Güzergâhın Belirlenmesi

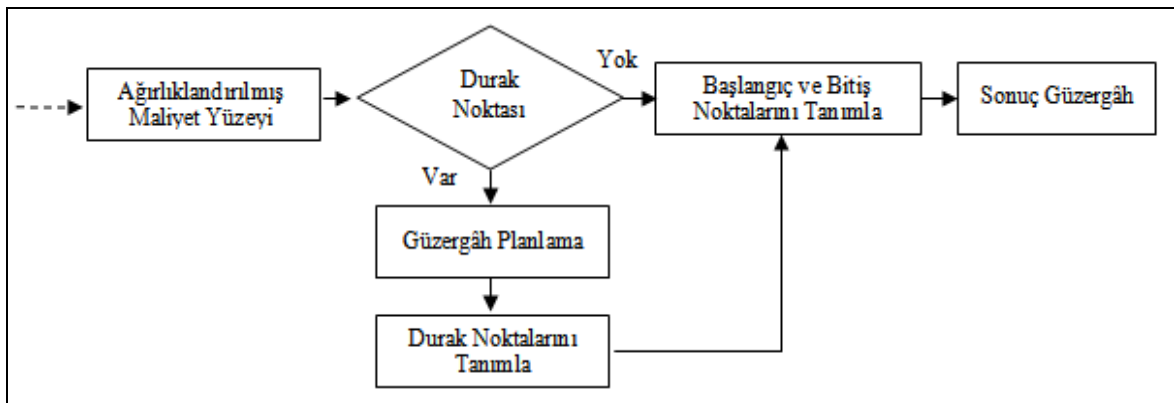
Ağırlıklandırılmış maliyet yüzeyi üzerinden, güzergâhın başlangıç noktası ve piksel boyutu dikkate alınarak raster tabanlı ağ analizi algoritmasının çalışma prensibine göre birikmiş toplam maliyet yüzeyi oluşturulur. Bu veri katmanında her bir piksel için güzergâh geçişlerinde esas alınacak değerler belirlenmiş olur. Güzergâh tespiti bu değerler içinde en küçük olanları takip ederek bitiş noktasına ulaşmaktadır.

Güzergâh belirleme algoritmalarının çalışma prensiplerine göre bu yüzey üzerinde güzergâhı belirlemeden önce ayrı bir yön katmanı oluşturulmaktadır. Yön katmanı başlangıç noktasından itibaren bitiş noktasına olan akış yönünü göstermektedir. Sonuç güzergâh en düşük maliyetli pikseller üzerinden bu yön katmanına göre oluşturulmaktadır.

2.2.7. Güzergâh Planlama

Boru hatları çok uzun mesafelerde inşa edilmektedir. Mevcut kaynakları, ihtiyaçlar doğrultusunda kaynak noktasından hedef noktasına dağıtırlar. Çoğu durumda kaynak ve hedef noktası birden fazla olabilmektedir. Bu durumda güzergâh planlama için etkin bir dağıtım ağı modellemesi yapılması gerekmektedir (Şekil 2.18).

Önerilen bu raster tabanlı güzergâh planlaması modelinde bir maliyet katmanı ve bir yön katmanı oluşturur. Güzergâh bu iki katman üzerinden belirlenir. Eğer başlangıç ve bitiş noktaları arasında birden fazla durak noktası varsa, her bir durak noktası hedef noktası olarak belirlenerek $n-1$ (n : durak noktası sayısı) adet farklı güzergâh tespit edilir. Son aşamada bu parçalı güzergâhlar birleştirilerek sonuç güzergâh elde edilir.



Şekil 2.18. Güzergâh planlama modeli

2.2.8. Maliyet Hesaplama

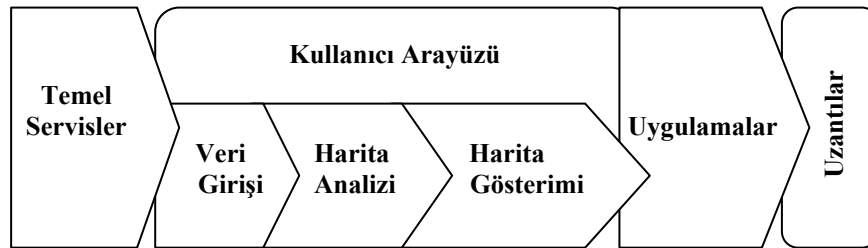
DGİH projelerinde güzergâh planlama aşaması, başta ekonomik maliyet olmak üzere, projenin bütün aşamalarını etkiler. Oluşturulan bu modelde, kullanıcıların doğru kararlar verebilmesi için boru hattı maliyetini etkileyecek önemli kriterler dikkate alınarak bir maliyet hesabı indeksi oluşturulmuştur. Bu indekste, boru hattının uzunluğu, koridor genişliği, güzergâhın ortalama eğimi, akarsu geçişi sayısı, yol geçişi sayısı, diğer ÇMY geçişleri, heyelan alanları geçişleri, kayalık ve sulak alan geçişi uzunlukları gibi parametreler alt faktörlerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, oluşturulan alternatif güzergâhların irdelenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

2.3. Arayüz Tasarımı ve Yazılım Geliştirme

2.3.1. ArcGIS 9.2 Yazılımı

Dünyada kullanılan CBS yazılımlarından en çok tercih edilenlerden biri ESRI (Environmental System Research Institute) firması tarafından üretilen yazılımlardır. ESRI firmasının en yaygın kullanılan ürünü ise ArcGIS yazılımıdır. Son sürümü ArcGIS 9.3'dür. Tez çalışması süresince ArcGIS 9.2 sürümü kullanılmıştır (Şekil 2.19).

ArcGIS yazılımı kişi, kurum ve kuruluşlar arasında insanların etkin karar verebilmesi ve yönetsel anlamda idarecilerin zor sorunları çözebilmesinde etkili bir CBS yazılımıdır (ESRI, 2004).



Şekil 2.19. ArcGIS Mimarisi(ESRI, 2004)

2.3.2. Arayüz İhtiyaçları ve Modüller

CBS yazılımları oldukça yapılanmış çok fonksiyonlu ve karmaşık yazılımlardır. Yöneticilerin bu yazılımları tüm fonksiyonları ile birlikte anında kullanmaları oldukça zordur. Pratikte bir yönetici sadece kendi uygulamalarına yönelik verileri kullanıp gerekli sorgulama ve analizleri hemen yaparak yeni bilgilere kısa sürede ulaşmak ister. Dolayısıyla özel bir kullanıcı için önemli olan, veritabanında kayıtlı bilgileri hızlı ve optimum şekilde kullanabilmektir. Bu nedenle ilgili verilerin, sorgulama/analiz araçlarının ve çıktı bileşenlerinin yöneticilerin kullanabilecekleri kolaylıkta kendilerine sunulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, bu gereksinimler doğrultusunda ve DGİH güzergâhlarının belirlenebilmesi için öngörülen bu modelin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde dinamik bir arayüz geliştirilmesi hedeflenmiştir.

CBS yazılımları kullanıcılara gerekli imkânları sağlamak adına, kullanıcı dostu (user friendly) arayüzler oluşturmak için bazı araçlar sunar. ArcGIS yazılımı bu amaçla ArcObject platformunu ile arayüz geliştirme ortamı sağlamaktadır. Bu bağlamda, ArcGIS yazılımının kendi yetenekleri, ArcObject teknolojisinin (yazılımlar için gerekli bütün bilgilerin bulunduğu dijital kütüphane) sağladığı bilgiler ve Türkiye için DGİH güzergâhı planlamasında gerekli iş akışı da göz önüne alınarak ArcGIS9.2 yazılımı üzerine bir arayüz geliştirilmiştir (Ek Şekil 1).

2.3.3. ArcObjects Teknolojisi

ArcGIS Desktop ve ArcGIS Engine yazılımlarının ortak kütüphanesi ArcObjects teknolojisidir. Kullanıcıların ihtiyaçlarına yönelik özelleştirilmiş uygulamalar geliştirmek için ArcObjects bir kod kütüphanesi sunmaktadır. Veri sunumu, yönetimi ve harita gösterimi için ArcMap programında Visual Basic Editörü ile arayüz yazılacağı zaman ArcObjects kütüphanesi kullanılabilir. Böylece ArcMap programında kullanılabilecek özelleştirilmiş uygulamalar yazmak mümkün olabilmektedir (Oğurlu, 2007).

ArcObjects, ArcGIS yazılımında kullanıcıya uygun arayüz geliştirmek için kullanılan teknolojidir. ArcGIS yazılımını kişiselleştirmek ya da geliştirmek için, Visual Basic Applications (VBA), C, C++ ya da C# gibi programlama dillerinden yararlanmaktadır.

Arcobjects platformunun önemli üç avantajı vardır:

- 1- ArcObjects teknolojisi, içinde barındırdığı kütüphaneler sayesinde ArcMap, ArcCatalog ve ArcScene modüllerinde kullanılabilir durumda olmayan özelliklere erişime olanak sağlar,
- 2- Son kullanıcılar için arayüzü kişiselleştirmeye olanak sağlar,
- 3- Üçüncü kişiler tarafından yazılan kodların, kullanıcının arayüzüne kolay entegre edilmesini sağlar.

ArcGIS yazılımını kişiselleştirmede üç aşama söz konusudur:

- 1- Kendi arayüzünü kişiselleştirmek (ArcObjects direkt olarak kullanılmaz),
- 2- Visual Basic programlama dili ile dahili kod yazmak,
- 3- Harici olarak kullanılan bir programlama dili (VB, C++, C#, VJ++ gibi) kullanarak bağımsız bir arayüz geliştirmek.

2.3.4. ESRI Developer Network (EDN) Platformu

EDN, uygulama geliştiricilere, özel CBS çözümleri geliştirmelerinde ihtiyaç duydukları kaynakları sağlayan, ESRI firmasının bir ürünüdür. C++, COM, .NET, C# ve Java programlama dilleri kullanarak uygulama yazılımları oluşturmak için gerekli CBS geliştirici araçları ve lisansları sağlar.

EDN'in amacı, uygulama geliştiricilere verimliliği arttıran araçlar sunmak, CBS geliştirme sürecinde maliyeti ve karmaşıklığı en aza indirmek ve ArcGIS platformu üzerinde uygulama geliştiricilere maksimum derecede fayda sağlamaktır.

2.3.5. Yazılım Geliştirme Araçları ve C#

C# yazılım dili 1990 'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmiştir (URL-14, 2009). 2000 yılının ortalarında C# 'ın ilk alfa sürümü piyasaya çıkmıştır. C# programlama dili; C, C++ ve Java gibi en yaygın kullanılan üç yazılım dili ile bağlantılı bir dil olarak yapılandırılmıştır. C# programlama dili; C dilinin söz dizimini ve C++ dilinin nesne yönelimli programlama yöntemlerini ve tekniklerini almıştır. C# 'ın Java ile olan ilişkisi ise

özel bir durumdur. Zira C# 'da Java gibi C ve C++ dillerinden özellikler almış ama aynı zamanda Java gibi platform bağımsız kod amaçlı tasarlanmıştır. Yani C# dili, Java dilinden türememiştir.

Tüm bu diğer dillerle olan bağlantısına rağmen C# beraberinde pek çok yenilik ve özellik getirmiştir. İşte bu noktada C# bileşen yönelimli bir dil (component-oriented language) olarak nitelendirilmiştir. C++; C deki nesne eksikliğini, Java; C++ daki platform bağımsızlık özelliğini ve son olarak C# hem hepsinde olan özellikleri hem de Java 'da olmayan uyumlu çalışma desteğini almıştır.

C# programlama dili .NET Framework için kod geliştirmek ve desteklemek amacı ile tasarlanmıştır. C# dilinde kullanılan ve her programlama dilinde bulunan kütüphaneler aynı zamanda .NET Framework tarafından kullanılan kütüphanelerdir. C# platform bağımsız oluşu ve aynı zamanda Microsoft 'un .NET strateji açısından kritik öneme sahip bir dil olmasından dolayı önemli bir yazılım dilidir.

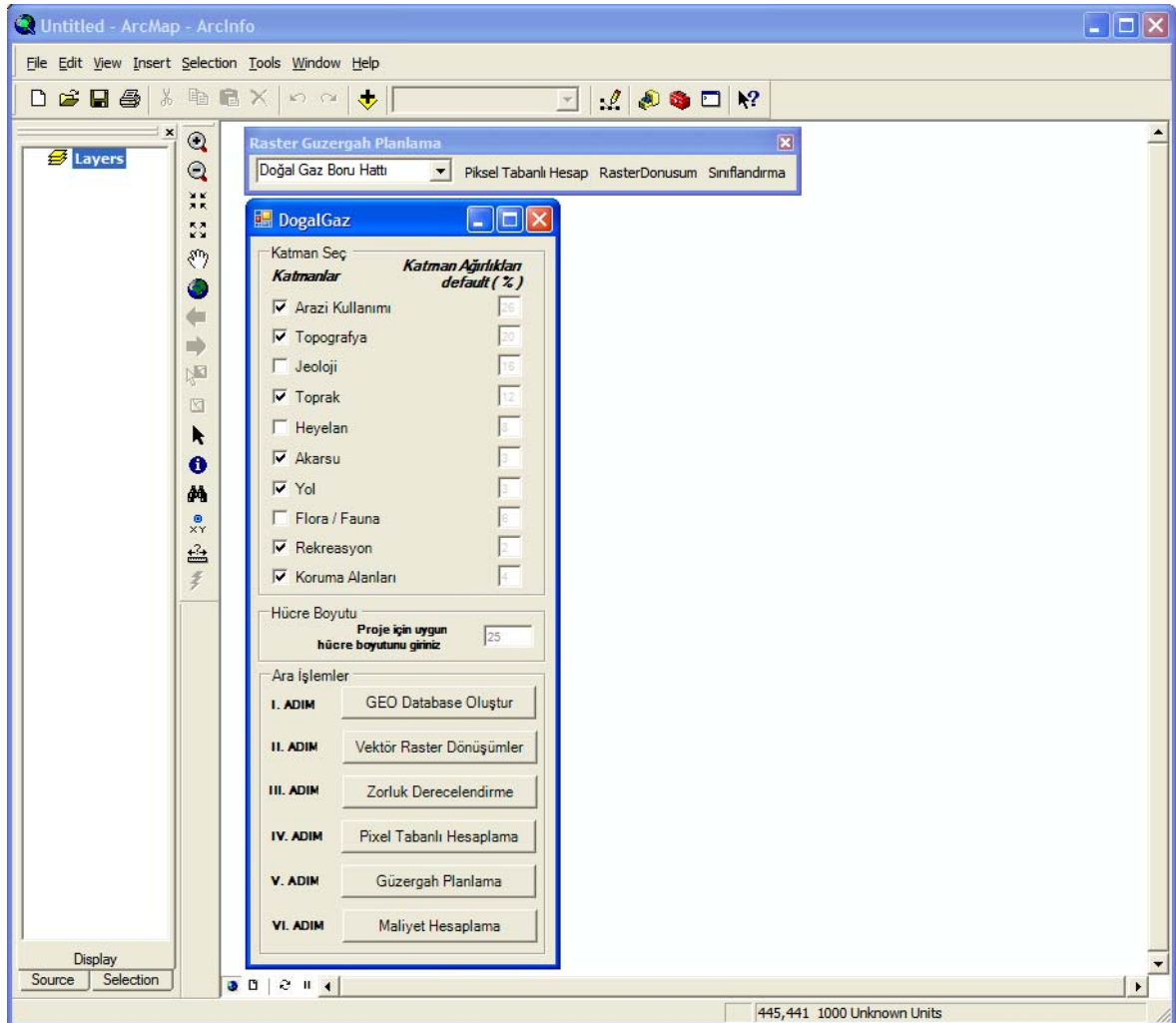
2.3.6. Güzergâh Planlama Modelinin Arayüze Uyarlanması

Tez çalışmasının bu bölümünde, DGIH projelerinin güzergâhlarını belirlemeye yönelik ortaya koyulan raster tabanlı güzergâh belirleme modeli için bir arayüz geliştirilmiştir. Bu arayüz çalışmasının temel hedefi, bir boru hattı güzergâh tespiti çalışmasında kullanıcının ihtiyaç duyabileceği bütün sorgulama ve analizleri aynı bir arayüz içinden ve bir “sihirbaz” eşliğinde yaparak sonuca en kısa yoldan ulaşabilmesidir. Arayüzün temel işleyiş prensibi Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Arayüzü oluşturmak için gerçekleştirilen işlem adımları sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

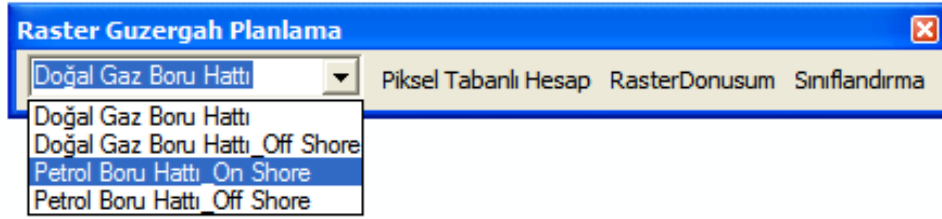
a- Boru Hattı Türünün Seçilmesi: Bütün ÇMY türleri için güzergâh belirleme süreci farklılık göstermektedir. Her biri için güzergâha etki eden faktörler ve bu faktörlerin ağırlıkları farklıdır. Örneğin bir demiryolu güzergâhı belirlemede eğim faktörü daha etkili iken, karayolu güzergâhı belirlemede yerleşim birimlerine yakınlık daha fazla önem arz etmektedir. Ya da bir boru hattı yapımında tünel veya köprü yerleri önemsiz iken, aynı etkenler bir karayolu projesinde önemlidir. Boru hatlarının güzergâh belirleme yaklaşımları da kendi içinde farklılıklar gösterir. Örneğin on-shore olarak tanımlanan ve sürekli karadan giden boru hatları ile off-shore olarak tanımlanan ve deniz ya da göl gibi sulu zeminlerden geçen boru hatlarının güzergâh belirleme yöntemleri de farklıdır. Bunların yanı sıra, boru hattının ne taşıdığı da güzergâhın belirlenmesinde önemlidir. Bir su boru hattı ile petrol

boru hattı yapımına etki eden faktörler ya da bu faktörlerin ağırlıkları aynı değildir. Bir DGİH ile petrol boru hattı için de durum aynıdır. Oluşturulan bu arayüzde ilk gereksinim, kullanıcının güzergâhını belirleyeceği projenin türünü seçebilmesidir (Şekil 2.21). Kullanıcı yaptığı seçim doğrultusunda bir sonraki işlem adımı olan faktör belirleme sürecinde farklı arayüzlerle karşılaşmakta ve bu arayüzlerin her biri kendi içinde kullanıcıyı sonuca getirmektedir.

Bu tez çalışmasında sadece DGİH güzergâhı belirlemek için bir arayüz geliştirilmiş olmasına rağmen, arayüz üzerinde proje cinsi seçim imkânı olması, bir sonraki aşamada arayüzün diğer ÇMY projelerine uygulanabilirliğinin sağlanması içindir.



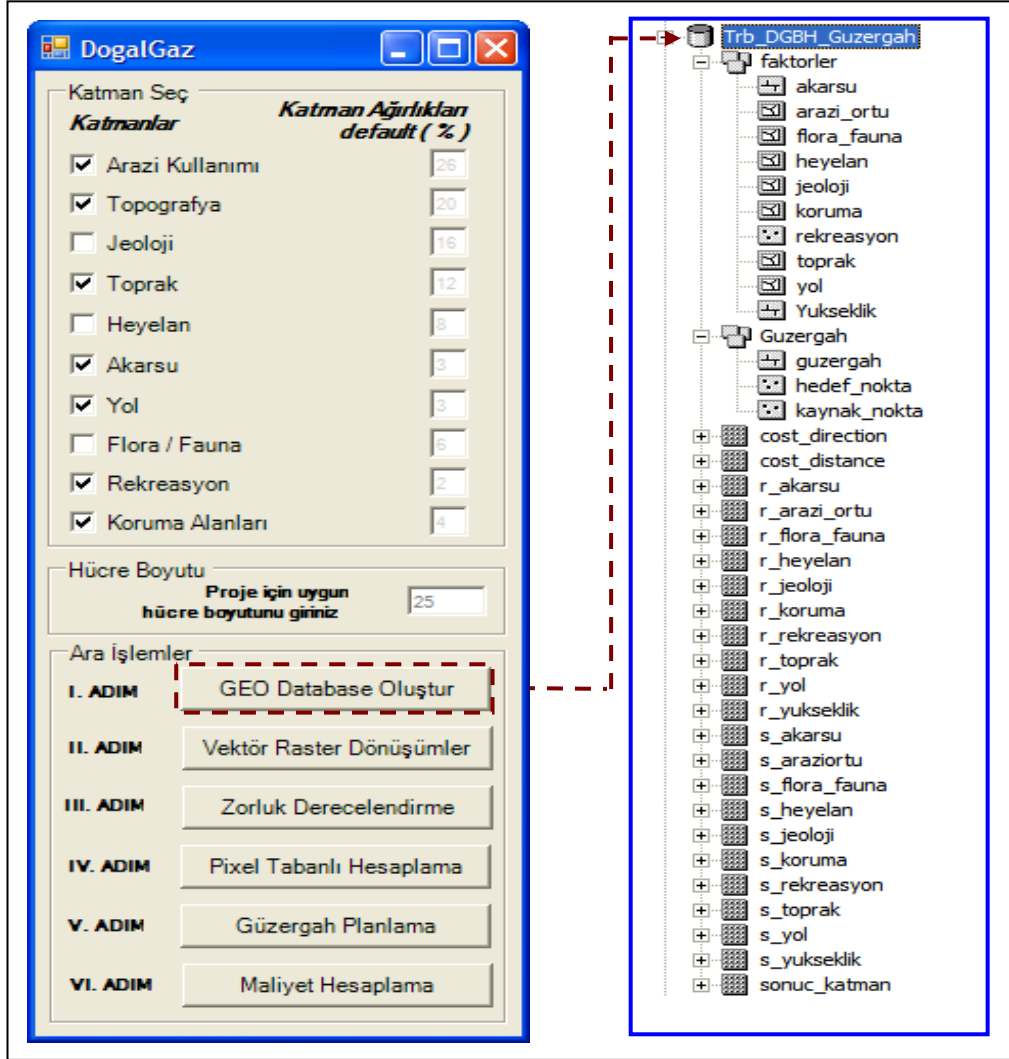
Şekil 2.20. Arayüzün genel görünümü



Şekil 2.21. Proje türü seçim modülü

b- Faktör seçimi ve ağırlıkların belirlenmesi: DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin neler olabileceği ve bu faktörlerin güzergâhı ne derecede etkilediği bölüm 2.2.5.3’de de anlatılmıştır. Boru hattı güzergâhlarının tespitinde projeden beklenen faydalar, çevresel hassasiyetler, ekonomik kriterler, sosyolojik etkenler ve daha birçok kriter doğrultusunda kullanılacak faktörler değişik ağırlıklarla sürece katılmak istenebilir. Bu amaçla arayüz, kullanıcının “default” olarak verilen faktörlerden istediğini seçebilmesine ve yine “default” olarak belirlenmiş ağırlık değerlerini değiştirebilmesine olanak sağlamalıdır. Örneğin, tropik bitki türlerinin yoğun olduğu bölgelerde çevresel hassasiyet doğrultusunda, diğer bütün faktörler gözardı edilerek ya da ağırlıkları azaltılarak sadece flora / fauna faktörü kullanılabilir ya da ağırlığı arttırılabilir. Bu bağlamda ağırlık değerlerinin kullanıcının isteği doğrultusunda değiştirilebilir özellikte olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra boru hattı güzergâhının belirlenmesinde her ne kadar bütün faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekli ise de özellikle veri bağlamında yaşanan sorunlar çoğu kez sınırlı sayıda faktör kullanılmasını gerekli kılar. Kullanıcı elindeki verilerin sağladığı imkânlar ölçüsünde faktör seçebilme olanağına da sahip olmalıdır. Ayrıca bazı durumlarda da birçok faktöre ait veri olmasına rağmen sadece sınırlı sayıda faktör de kullanılmak istenebilir. Örneğin erozyonlu bir alandan geçiş yapılacaksa, sadece erozyon faktörü tek başına kullanılarak en uygun güzergâh tespit edilmek istenebilir. Bu bağlamda arayüz, kullanıcılara istediği faktörü seçme imkânı ve istediği faktörün ağırlığını değiştirme olanağı sağlamaktadır (Şekil 2.22).

c- Piksel boyutunun belirlenmesi: Raster tabanlı bütün CBS uygulamalarında piksel boyutu önem arz etmektedir. DGİH güzergâh belirleme modelinde de durum aynıdır. Pratik uygulamaya bakıldığında, bir boru hattı güzergâhı tespit edilirken koridor tanımlaması yapılır ve koridor genişliği 20 km den başlayarak 20 m ye kadar düşürülür. Bu bağlamda arayüz için bir diğer gereksinim, kullanılan verinin hassasiyetine göre uygun piksel boyutunun ilk başlangıçta seçilebilmesidir.



Şekil 2.22. Faktör ve ağırlık belirleme modülü

d- Projeksiyon ve datum dönüşümleri: CBS uygulamalarında veri katmanlarının ortak koordinat sisteminde olması bir zorunluluktur. Arayüzde ArcGIS9.2 yazılımına ait mevcut tanımlanmış projeksiyon ve datum dönüşümleri kullanılmıştır. Kullanıcının seçtiği faktörler ilgili veri setlerine aktarılırken uygun projeksiyon ve datum tanımlamaları yapılabilmektedir. Projeksiyon ve datum seçiminde projenin uzunluğu ve yönü önemlidir.

e- Veritabanının oluşturulması: Bütün CBS uygulamalarında olduğu gibi boru hattı güzergâhlarının belirlenmesinde de en önemli süreçlerden bir tanesi “veri organizasyonu” dur. Oluşturulan bu model raster tabanlı veri modellerini kullanmaktadır. Bu bağlamda ilk aşamada elde edilen vektör veriler için ayrı bir dosyalama sistemi, daha sonra bu verileri raster formatına dönüştürüp saklayabilmek için ayrı bir dosyalama sistemi oluşturmak gereklidir. Kullanılan ArcGIS yazılımına bağlı olarak, veri dosyalama yöntemi olarak

“geodatabase” sistemi kullanılmıştır. “Geodatabase” klasik dosyalama fonksiyonlarından daha gelişmiş özellikler içeren Access tabanlı bir veritabanıdır. Bu dosyalama sistemi içinde her veri yapısı için ayrı bir veri seti (feature dataset) ve her bir veri için ayrı bir veri sınıfı (feature class) oluşturulmaktadır.

Bu arayüzde diğer bir gereksinim kullanıcının veritabanı tasarımını kolayca yapabilmesidir. Bu bağlamda arayüz içinde bir dosyalama sistemi oluşturulmuştur. Seçilen faktörlere ait veriler, ilgili dosyalardan okutulmakta ve kullanıcının istediği bir yerde oluşturduğu “geodatabase” için uygun veri setlerine kaydedilmektedir.

f- Vektör – Raster dönüşümler: Kullanıcının isteğine bağlı olarak şekillenen faktör, ağırlık ve piksel boyutu seçimine göre bir sonraki aşamada bütün vektör veriler raster formata dönüştürülür. Arayüz üzerinde bu işlem otomatik olarak yapılır (Şekil 2.23). Hesaba katılması istenen ve bu bağlamda kullanıcı tarafından işaretlenmiş bütün veri katmanları aynı “geodatabase” içinde raster formatta ve istenilen piksel büyüklüğünde oluşturulur. Oluşturulan raster veri katmanları ekranda otomatik olarak gösterilir.

```
private void button3_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    if (arzk1.Checked)
    {
        FeatureToRaster fff = new FeatureToRaster();
        fff.cell_size = textBox8.Text;
        ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor gpx = new
        ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor();
        fff.in_features = path + "\\\" + name + \".mdb\\\" +
        araziismi + "\\arazikullanim";
        fff.field = "TYPE";
        fff.out_raster = path + "\\\" + name +
        \".mdb\\r_arazikullanim";
        gpx.Execute(fff, null);
    }
}
```

Şekil 2.23. Raster dönüşüm kod yazım örneği (arazi örtüsü faktörü seçili iken)

g- Sınıflandırma (zorluk derecelendirmesi): Raster tabanlı DGİH güzergâh planlamasında ve raster tabanlı bütün CBS uygulamalarında veri katmanı içinde bulunan alt faktörler için bir zorluk derecelendirmesi yapılması gerekmektedir. Sınıflandırma işlemindeki amaç; alt faktörlerin, uygulamanın türüne göre göstereceği dirence dayalı olarak belirli sınıfsal aralıklar tanımlamaktır. Geliştirilen arayüz raster formatına dönüştürülen veriler için kullanıcıya bir sınıflandırma yapma imkanı sağlamaktadır. Alt faktör sınıflandırma değerleri her bir veri katmanı için tespit edilmiştir. Tespit edilen bu

zorluk derecelendirmesi genel itibariyle DĞİH güzergâh belirleme uygulamalarında standart olarak kullanıldığı için bu değerler direkt arayüz içine uyarlanmıştır (Şekil 2.24).

```
private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (arzkl.Checked)
    {
        Reclassify ws = new Reclassify();
        ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor gp = new
        ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor();
        ws.in_raster = path + "\\\" + name + ".mdb"
        + "\\r_arazikullanim";
        ws.out_raster = path + "\\\" + name + ".mdb" +
        "\\s_arazikullanim";
        ws.reclass_field = "VALUE";
        ws.remap = "0 1 9 ; 1 2 8 ; 2 3 7 ; 3 4 6 ; 4 5 5 ; 5 6
        4 ; 6 7 3";
        gp.Execute(ws, null);
    }
}
```

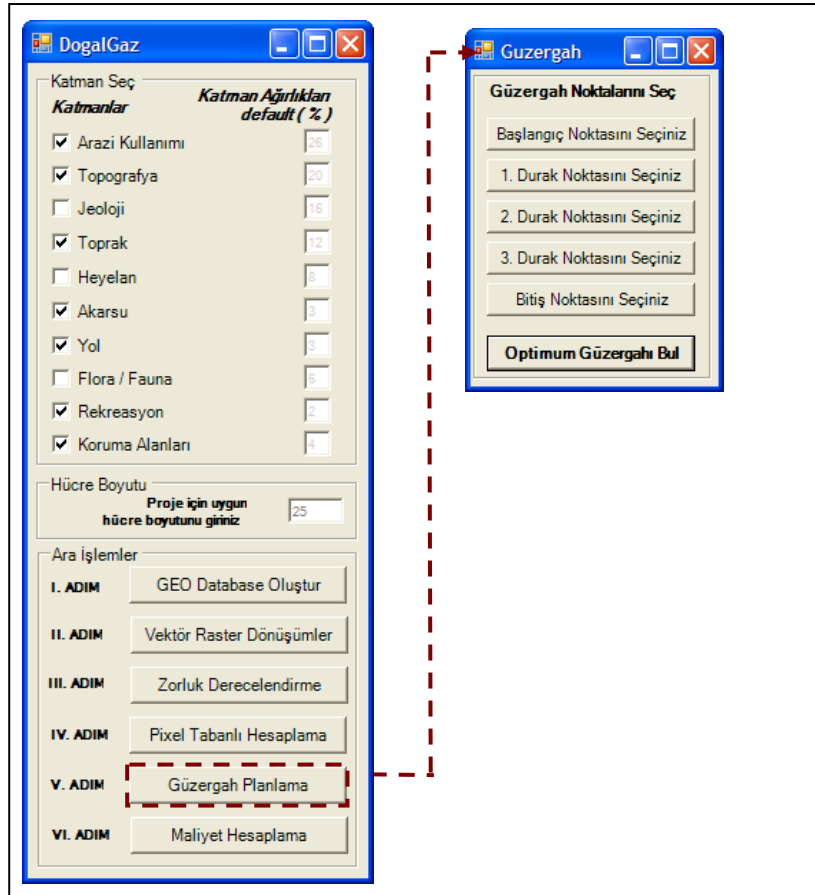
Şekil 2.24. Sınıflandırma kod yazım örneği (arazi örtüsü faktörü seçili iken)

h- Piksel tabanlı aritmetik işlemler: Güzergâh belirlemede kullanılan faktörlere ait veri katmanları ayrı ayrı hazırlandıktan sonra hepsinin ortak bir katman içinde birleştirilmesi ve bundan sonraki hesaplamaların bu katman üzerinden yapılması gerekmektedir. Arayüz gereksinimlerinden bir diğeri de kullanıcının seçtiği faktörler ve belirlenen faktör ağırlıklarına göre ağırlıklı maliyet yüzeyinin oluşturulabilmesidir. Bu bağlamda arayüz içinde veri katmanları aritmetik işlemlere tabi tutulabilmektedir (Şekil 2.25). Piksel tabanlı hesaplama modülü olarak arayüze eklenen bu modül, ArcGIS yazılımı içindeki “raster calculator” fonksiyonunun işlevini yerine getirmektedir.

```
private void button5_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    String girenRaster = "";
    if (arzkl.Checked)
    {
        girenRaster += path + "\\\" + name + ".mdb" + "\\s_arazikullanim VALUE "
        + textBox1.Text + " ; ";
    }
    new WeightedSum();
    ws.in_rasters = girenRaster.Substring(0, girenRaster.Length - 3);
    ws.out_raster = path + "\\\" + name + ".mdb" + "\\sonuc_katman";
    ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor gp = new
    ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor();
    gp.Execute(ws, null);
}
```

Şekil 2.25. Aritmetik hesaplama kod yazım örneği (arazi örtüsü faktörü seçili iken)

i- Güzergâh planlama: Arayüz gereksinimlerinden bir diğeri de kullanıcının başlangıç, durak ve bitiş noktalarını tanımlayabileceği bir güzergâh planlaması yapabilmesidir. Bu bağlamda arayüz içine “güzergâh belirleme” modülü eklenmiştir (Şekil 2.26). Bu modül yardımıyla güzergâha ait bilgiler sisteme girilerek sonuç güzergâh oluşturulmaktadır. Bu aşamada kullanıcı güzergâhla ilgili başlangıç, bitiş ve varsa ara noktaları belirler. Güzergâh noktalarının önceden tanımlanmış ve ayrı bir veri katmanı olarak veritabanında nokta ya da poligon veri yapısında hazırlanmış olması gerekmektedir. İlk aşamada başlangıç noktasına göre çalışma alanı olarak belirlenen yüzey üzerindeki bütün piksellere, piksellerin maliyet değerlerine bağlı olarak birikmiş toplam maliyet değerleri atanır. Bu aşamada başlangıç pikselinin maliyet değeri 0 olarak alınır. Arkasından bu değerlere göre her bir pikselin, maliyeti en düşük olan piksele doğru akış yönünü belirten yön katmanı oluşturulur. Son aşamada ise yön katmanına göre hedef noktasından, maliyet değeri 0 olan başlangıç katmanına doğru yön bilgileri dikkate alınarak oluşturulan hat en düşük maliyetli güzergâhı göstermektedir.



Şekil 2.26. Güzergâh planlama modülü

Kullanıcının durak noktaları tanımlaması durumunda ise her bir durak noktası bir önceki güzergâhın hedef noktası gibi algılanarak sonuca gidilmektedir. Örneğin başlangıç ve bitiş noktaları arasında bir durak noktası tanımlanmışsa iki ayrı güzergâh oluşturulur. Bu güzergâhlardan birinin başlangıcı kaynak nokta, bitişi ise durak noktasıdır. Diğer güzergâhın ise başlangıcı durak noktası, bitişi ise hedef noktasıdır. Bu şekilde belirlenen güzergâhlar arayüz içinde yazılan kod ile kullanıcıya tek bir güzergâh olarak gösterilmektedir. Son aşamada çizgi veri formatında belirlenen güzergâh, sonuçların istatistiksel olarak karşılaştırılabilmesi için raster veri formatına dönüştürülmektedir.

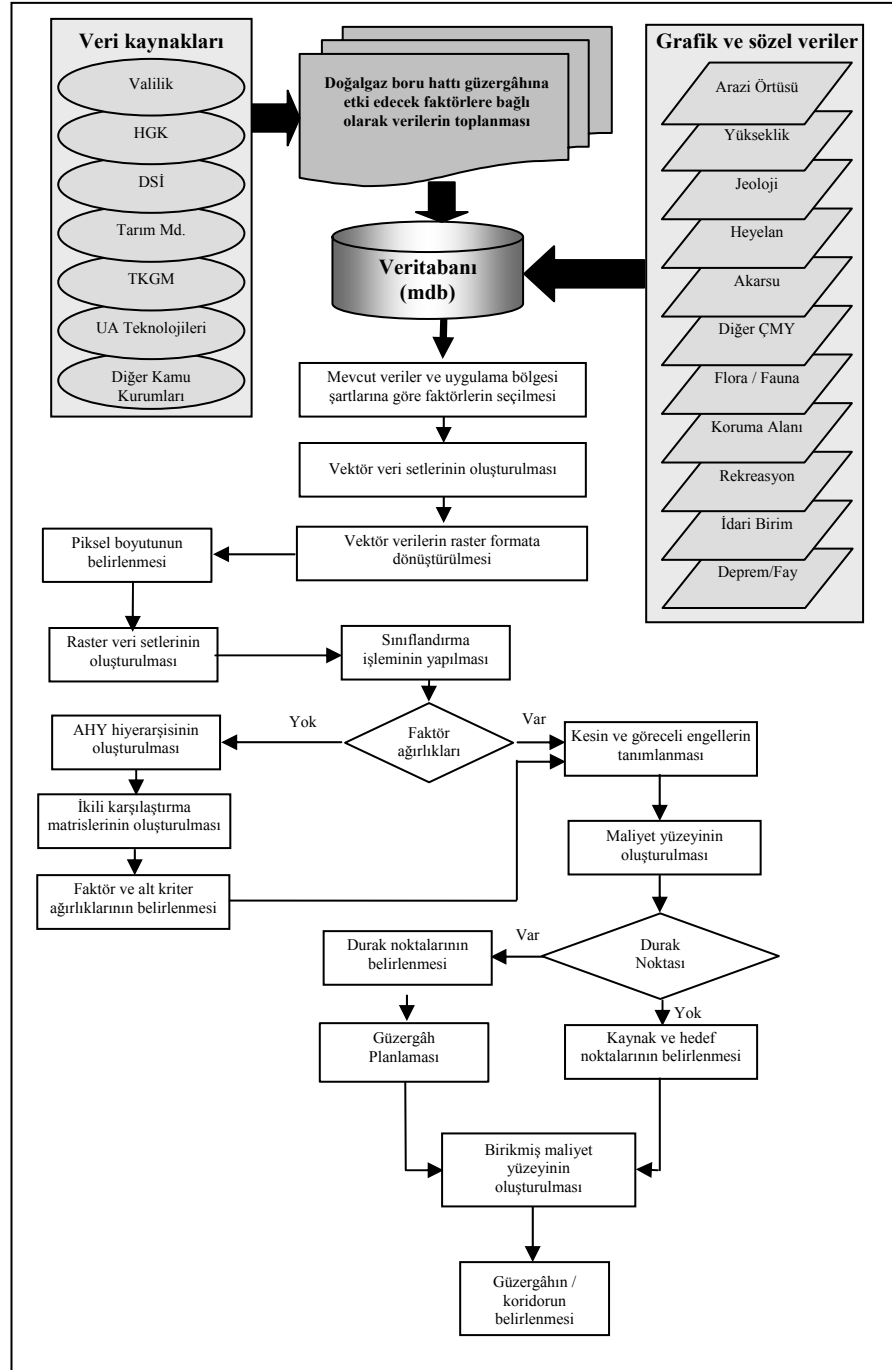
k- Ekonomik maliyet hesaplama; DGİH güzergâhlarında önemli kriterlerden biri de güzergâhın maliyet açısından uygun olmasıdır. Bu bağlamda tasarlanan arayüz içinde kullanıcı genel anlamda güzergâhın maliyet bilgilerine erişebilmektedir (Şekil 2.27). Ekonomik maliyet hesaplama modülünde, DGİH maliyetine etki edecek faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- boru hattı toplam uzunluğu,
- inşaat çalışması koridor genişliği,
- yol geçişi sayısı,
- akarsu geçişi sayısı,
- ormanlık alan geçişi uzunluğu,
- heyelanlı bölge geçiş uzunluğu,
- kayalık alanlardan geçiş uzunluğu,
- ortalama eğim değeri,

Bu modülü oluşturmadaki temel amaç kullanıcıya belirlediği güzergâh hakkında genel bir ekonomik maliyet bilgisi vermektir. Buradan çıkan sonuç gerçek maliyet değeri ile birebir örtüşmez, sadece kullanıcıya bir ön fikir verir.

gerekmektedir. Bu mesafenin üzerindeki uzunluklar için farklı taşıma yöntemleri kullanılmalıdır (Thomaidis ve Mavrakıs, 2006).

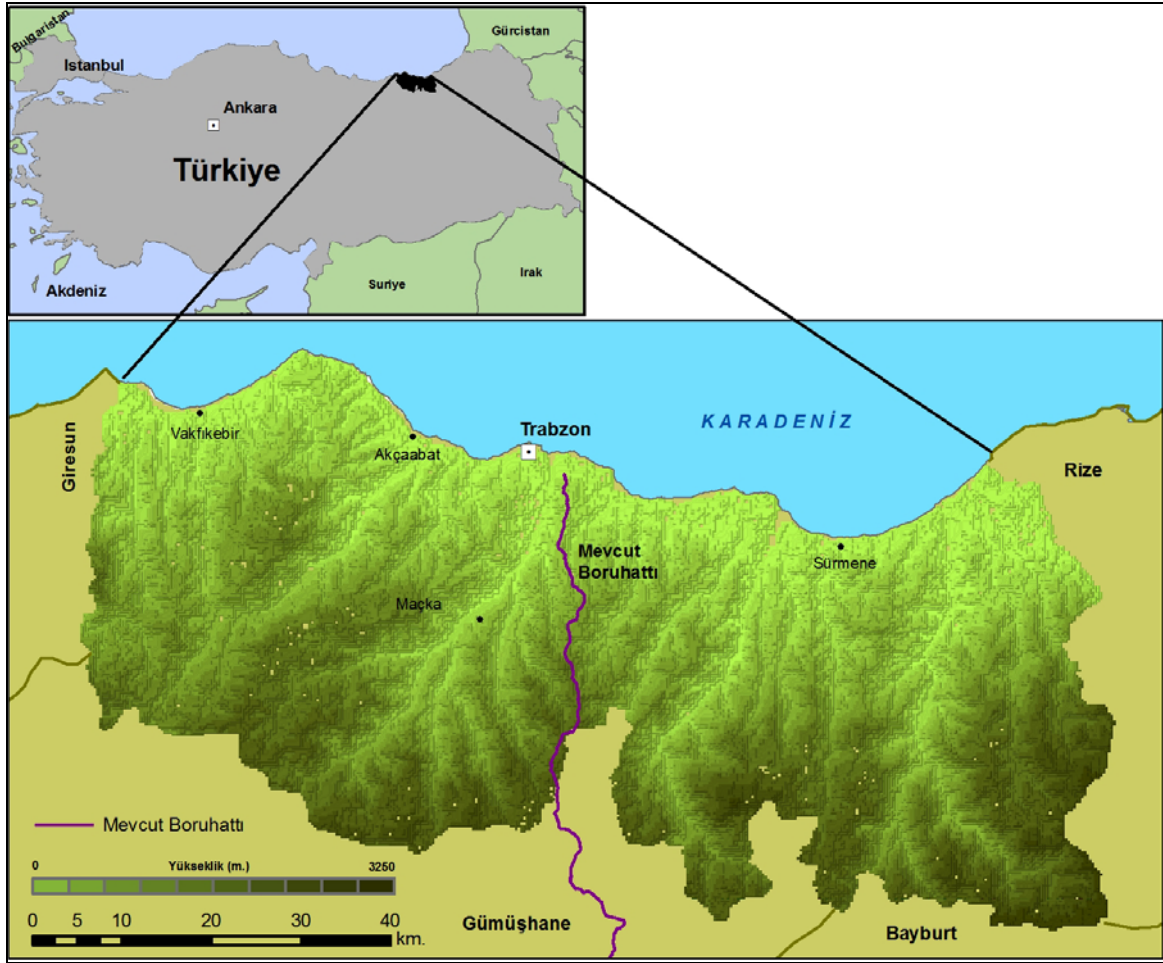
Uygulama çalışmasının gerçekleştirilmesinde izlenen işlem sırası Şekil 2.28’de gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Gerçekleştirme sürecinde uygulanan temel işlem adımları

2.4.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi

Çalışma bölgesi seçilirken, modelin etkinliğinin değerlendirilebilmesi için mevcut durumda bir boru hattının olması, kaliteli ve güncel veriye kolay erişimin sağlanabilmesi dikkate alınmıştır. Bu bağlamda Erzurum-Sivas doğalgaz ana iletim hattından alınan ve mevcut durumda tamamlanmış Trabzon DGİH'nin, Gümüşhane sınırından sonraki 46 km'lik kısmının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29. Çalışma Alanı

Trabzon DGİH: BOTAŞ tarafından yaptırılan Doğu Karadeniz Bölgesi DGİH Projesi kapsamında Erzurum-Erzincan arasında bulunan ve 40 inç çaplı doğalgaz iletim hattından, Erzincan il sınırları içerisinde Başköy yakınlarından başlayan ve Trabzon Belediyesi imar sınırlarında biten 141 km uzunluğunda ve 24 inç çaplı Trabzon DGİH ile Trabzon iline doğalgaz götürülmesi hedeflenmiştir. Bu hattın 42+300 km sinden Bayburt

ve Rize illerine, yine aynı hattın 68+260 km'sinden Gümüşhane iline doğalgaz götürülmesi amacıyla iki adet branşman hattı ayrılmıştır.

Trabzon DGİH genelde Doğu Karadeniz'in yüksek ve engebeli bölümünden geçen, yer yer volkan konilerinin yükseldiği kuzey-doğu ve güney-batı doğrultusunda uzanmış dağlar ile bunlar üzerindeki sırtları, bazen de bu sırtlar arasındaki dar alüvyon düzlükleri takip ederek Karadeniz kıyı şeridine kadar inmektedir. Gümüşhane-Bayburt karayolunu yaklaşık 59+250 km de kesen hat, yaklaşık %35-40 eğimle Nallıların Tepesi sırtlarına çıkmakta ve bu sırtlar boyunca devam etmektedir. Güzergâh bu bölümden sonra yer yer 2000-2500 metrenin üzerine çıkmaktadır. Yaklaşık 55-60 km bu yüksekliklerden ve morfolojik olarak sırt ve bu sırtlar arasındaki alüvyon ve vadileri takip eden güzergâhın, yaklaşık 115-120 km'lerinden sonra rakım kademeli olarak 2000 metrenin altına inmekte ve kıyıya doğru azalmaktadır. Bu inişlerde de sırtlar takip edilmiştir. Hat, Trabzon sınırlarında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nin yaklaşık 1,5 – 2 km güneyinde belediye imar sınırında bitmektedir.

Hattın geçtiği araziler genelde mera kullanımlı araziler olup bunun yanı sıra tarım ve orman arazileri de mevcuttur. Hattın Erzincan, Bayburt ve Gümüşhane illerinde kalan kısmında orman alanı bulunmamaktadır. Bu illerde boru hattı, mera ve tarım arazilerinden geçmektedir. Tarım arazileri ise ekili tarımın (arpa, buğday vb.) yapıldığı alanlardır. Dere kenarından geçişlerde kısmen dikili tarımın yapıldığı meyve bahçelerine rastlanmaktadır. Hattın Trabzon iline rastlayan kısmı ise orman vasıflı arazilerdir. Orman vasfında görünen arazilerde içerisinde yer yer tarım ve yerleşim yerleri bulunmaktadır. Orman vasıflı tarım arazileri içerisinde kalan tarım alanlarında çay ve fındık bahçeleri yer almaktadır.

Uygulama çalışması için bu alanın seçilmesinde üç etken vardır: birincisi mevcut durumda optimizasyonun yapılabileceği bir boru hattı olması, ikincisi veri toplama kolaylığı ve üçüncüsü de gerektiğinde arazi çalışmaları için yakın bir alan olmasıdır.

Güzergâha etki eden faktörler doğrultusunda genel değerlendirme: Trabzon ili, 39°7'30'' ile 40°30' doğu meridyenleri ve 40°30' ile 41°7' kuzey paralelleri arasında Doğu Karadeniz Bölgesinde yer almaktadır. 2008 yılı itibarıyla 748.982 nüfusa sahiptir (URL-15, 2009). Yüzölçümü ise 465.923 ha'dır. Toplam yol uzunluğu 2682 km ve toplam akarsu uzunluğu ise 2291 km'dir. Arazi örtüsü olarak, Trabzon İli'nin %45,5'i ormanlık, %17,1'i ekili tarım, %16,5'i dikili tarım (çay ve fındık), %18,6'sı mera alanı ve %1,1'i yerleşim alanı olarak sınıflandırılmıştır. Trabzon ili'nin %16,4 kadarlık bir bölümü %10 eğimin altındadır. Eğim değeri %10-50 arasında kalan alanlar arazinin %43,11'ini

oluşturmaktadır. %50 ve daha fazla eğimli alanlar ise %40,5'lik bir alana sahiptir. Jeolojik olarak en geniş alan Üst Kretase yaşlı volkanik oluşumlardan meydana gelmektedir. İl'in güney bölümlerinde yer yer granitlere rastlanmaktadır. İl'in güney sınırı boyunca ve kıyı bölgesinin gerisinde, Eosen yaşlı volkanik oluşumlar da önemli yer tutmaktadır. Kıyı boyunca ise Neojen yaşlı tabakalar mevcuttur (Reis, 2003).

2.4.2. Yazılım ve Donanım Seçimi

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü GISLab Ar-Ge Laboratuvarında mevcut olan yazılım ve donanımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CBS yazılımı olarak ESRI firmasının ürettiği ArcGIS 9.2 yazılımı ve ilgili modülleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri ile ilgili işlemlerde ise Erdas 8.3 yazılımı kullanılmıştır.

Donanım olarak Toshiba Intel ® Core ™ 2 Tablet PC kullanılmıştır. Veri sayısallaştırmasında A0 boyutunda Calcomp III sayısallaştırıcıdan yararlanılmıştır. Ayrıca çıktı ürünleri için HP Designjet 1055C çizici, HP Laserjet 3600 yazıcı kullanılmıştır.

2.4.3. Veri Sözlüğünün Hazırlanması

Tasarım neticesinde veri tabanının karakteristik yapısını tanımlayacak bir dokümanerin oluşturulması gerekmektedir. Bu doküman genelde veri sözlüğü (data dictionary) olarak bilinir (Yomralıoğlu, 2000). Veri sözlüğü en azından her bir kartografik katman için bütün öğeleri (ilişkisel veri tablosunda her kayıta karşı gelen sütun) ve veri kodlarını tanımlamalıdır (Başkent, 1997). Bu çalışmada veri tabanında tutulan tüm katmanlara ait veri sözlüğü hazırlanmıştır. Tablo 2.19'da yol katmanına ait veri sözlüğü örneği gösterilmiştir.

2.4.5. Konumsal Veri / Bilgi Toplama ve İşleme

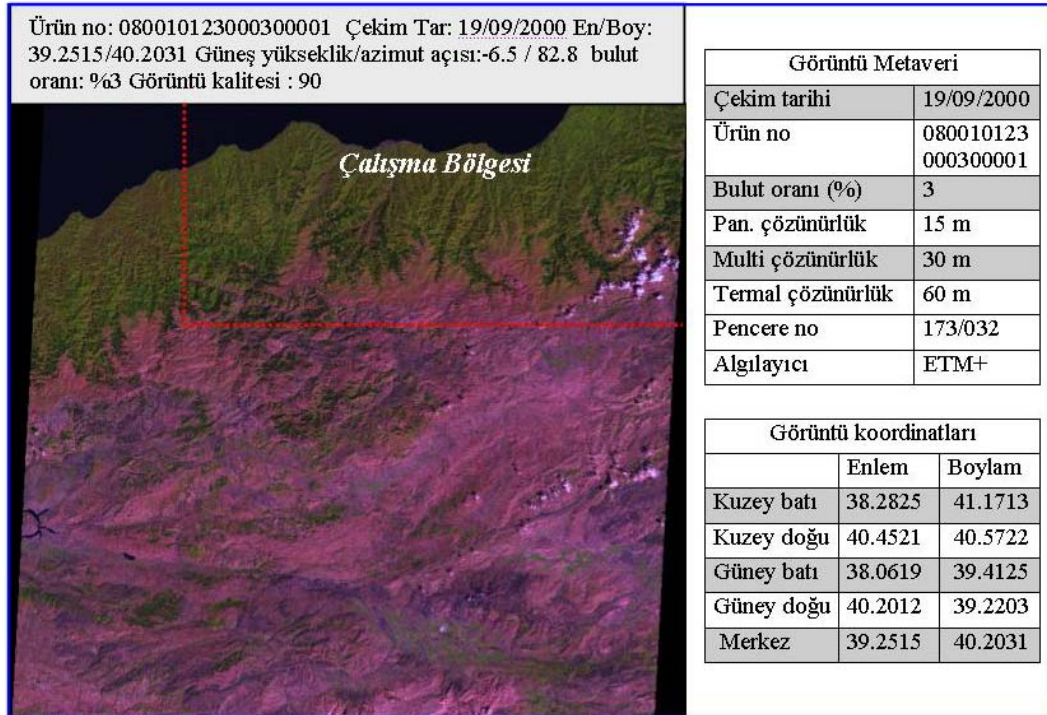
Bir boru hattı güzergâhının en uygun yerden geçirilmesinde, güzergâha etki eden faktörlerin konumsal ve öznitelik bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Konumsal ve öznitelik verilerinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve kullanıma hazır hale getirilmesi zaman ve maliyet açısından da sistemin önemli bir kısmını oluşturur (Yomralıoğlu, 2000). Özellikle mevcut olmayan verilerin toplanması ve kurum/kuruluşlar tarafından üretilen mevcut verilerin sistem içine dahil edilebilmesi için veri kalitesinin iyileştirilmesi gereksinimi de bu süreci olumsuz etkiler.

Bu çalışmada mevcut veriler veri kalitesini etkileyecek temel unsurlarda düzenlemeler yapılarak kullanılmaya çalışılmıştır. Mevcut olmayan fakat modelin etkinliğini olumsuz yönde etkileyebilecek veriler için de mevcut veri toplama yöntemleri ve uzaktan algılama teknolojileri kullanılmıştır.

Çalışma yapılacak bölgede, arşiv görüntüsü olarak ele edilen, 19 Eylül 2000 tarihli Landsat ETM+ uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntünün güney-doğu bölümünde bir miktar bulut (%1) mevcuttur. Orijinal görüntü verisi (400 MB) standart arşiv formatında elde edilmiştir. Bu uydu görüntüsünün ID numarası ve pozisyonu ile ilgili bilgiler Şekil 2.30'da verilmiştir. Uyduda ayrıca 15m çözünürlüklü pankromatik bant ilave olarak bulunmaktadır. Orijinal görüntü üzerinde pilot bölge olarak seçilen alan yaklaşık olarak belirlenerek çıkarılmış ve çalışma bu kesilen görüntü üzerinde devam etmiştir. Uydu görüntüsü ile ilgili bütün ara işlemler ve sonuç itibarıyla Trabzon İli'ne ait arazi örtüsü katmanı Reis, (2003) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiştir. Bu çalışmada arazi örtüsü katmanının yanı sıra, yol, akarsu, göl/gölet/deniz ve kıyı katmanlarını da kontrollü olarak tespit etmiştir (Reis, 2003)

2.4.6. Veri Katmanlarının Oluşturulması

Çalışma bölgesindeki veri katmanlarının oluşturulması için genelde kamu kurum ve kuruluşlarının ürettiği klasik analog ve dijital haritalar ile HGK'nin ürettiği standart topografik haritalar kullanılmıştır. Trabzon DĞİH güzergâhını etkileyecek faktörlere ait kamu kurumlarından ve uydu görüntüsünden elde edilen veri katmanları Tablo 2.18'de gösterilmiştir. Tablo 2.20 toplanan verilere ait öznitelik bilgilerini, veri kaynağını, ölçeğini, verinin tipini ve veri katmanı isimlerini kapsamaktadır.



Şekil 2.30. Landsat ETM+ 543 (RGB) uydu görüntüsü ve görüntü meta verisi (Reis, 2003)

Tablo 2.20. Uygulama çalışmasında kullanılan veri katmanlarına ait bilgiler

Varlıklar	Varlık Tipi	Katman Adı	Öznitelik	Veri Kaynağı	Edinme Tarihi	Ölçek
Eşyükseklik Eğrileri	Çizgi	EGIM	Length, Esyuk_Id, Kot	HGK – Dijital Standart Topografik Haritalar	2008	1/25.000
Jeoloji Haritası	Alan	JEOLoji	Area, Perimeter, Litoloji	MTA Genel Müdürlüğü	2003	1/100.000
Arazi Örtüsü	Raster	ARAZIORTUSU	Area, Perimeter, Turu	Landsat	2000	1/100.000
	Vektör	ARAZIORTUSU_KH	Area, Perimeter, Arazi_Id, Arazi_kul	Köy Hizmetleri	2002	1/100.000
Heyelan Alanları	Alan	HEYELAN	Shape, Area, Perimeter, Heyelan_Id, Heyelan_turu	MTA-Landsat	2002	1/100.000
Toprak Bilgileri	Alan	TOPRAK	Area, Perimeter, Btg, Ed, Saks, At, Akks, As	Köy Hizmetleri	2003	1/100.000
Akarsular	Çizgi	AKARSU	Length, Akarsu_Id, Akarsu_adi, Debi	MTA	2001	1/100.000
Karayolu	Çizgi	KARAYOLU	Shape, Yol_, Yol_id, Isim, Fnode, Tnode, Uzunluk, Yol_cinsi, Yol_sinifi	Landsat-HGK	2001	1/25.000
İdari Merkezler	Nokta	IDARIMER	İdarimer_Id, Adi, Turu, Nufus	Köy Hizmetleri	2000	1/100.000
Kültür Turizm	Nokta	KULTURIZM	Kulturizm_Id, Turu, Adi, Kod	Topografik Hrt, Turizm Md., MTA, HGK	2000	1/25.000
Koruma Alanı	Nokta	KORUMA	Koruma_Id, Yeri, Ozellik, Cinsi	Mescere Haritaları	2004	1/25.000

Veri setlerinin toplanmasında öncelikle dikkat edilecek husus, bu verilerin istenen standart, doğruluk ve ölçeğe göre sınıflandırılmasıdır. Ülkemizde konumsal bilgilerin üretiminde kamu kurumları arasında yetki ve sorumluluk açısından belirli bir standart henüz oluşturulmadığından birçok veri farklı kurum tarafından aynı anda, değişik ölçek ve standartta toplanmış bulunmaktadır. Bu amaçla, çalışma için uygun olan değişik türdeki farklı kaynaklara ait bilgiler birbirleri ile entegre edilmiştir.

2.4.7. Vektör –Raster Veri Dönüşümleri

CBS çalışmalarında uygulamanın amacına bağlı olarak konumsal verilerin toplanma yöntemine ve veri modellerine öncelikle karar verilir. Boru hattı gibi herhangi bir ÇMY'nin CBS tabanlı olarak güzergâhının belirlenebilmesi raster tabanlı veri modelleri kullanılarak mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilen uygulama çalışmasında raster tabanlı olarak elde edilemeyen diğer veri setleri raster formata dönüştürülmüştür. Bu aşamada en önemli süreçlerden bir tanesi de piksel boyutunun belirlenmesidir. Piksel boyutu öncelikli olarak kullanılan verinin ölçeği ile ilgilidir. Çalışmadan beklenen hassasiyet ve uygulama yapılacak alanın büyüklüğü diğer etkenlerdir.

Mevcut durumda iki nokta arasındaki en uygun güzergâh, altlık olarak kullanılan haritalar üzerinden iterasyon yapılarak belirlenir. Örneğin, başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki en uygun güzergâh ilk aşamada 1/500.000 ölçekli haritalara üzerinden 20 km genişliğinde; arkasından 1/200.000, 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli haritalar üzerinden de 100 m genişliğe kadar daraltılarak belirlenir. Sonuç güzergâh ise 20 m genişliğinde elde edilmektedir.

Bu uygulama çalışmasında piksel boyutu, uydu görüntüsünün çözünürlüğü ve verilerin elde edilme ölçeği dikkate alınarak, 30m*30m olarak belirlenmiştir.

2.4.8. Raster Verilerin Sınıflandırılması

Raster formata dönüştürülen verilere ait alt kriterlerinin geçiş zorluk derecelendirmelerinin ortak bir ölçekte belirlenebilmesi bir sınıflandırma süreci ile mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda Tablo 2.18'de belirlenen alt kriter ağırlıklarına göre bir sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemde temel amaç; her bir faktör için aynı ölçekte

ya da aynı oranda eşit sayıda sınıf belirlemektir. Örneğin arazi örtüsü veri katmanı içinde yerleşim birimlerinden geçiş zorluğu 10 üzerinden 9 ise ya da 100 üzerinden 90 ise, aynı şekilde aktif heyelan alanlarından geçişte 10 üzerinden 9 ya da 100 üzerinden 90 ile ifade edilmektedir (Iqbal ve Satar, 2006) .

Bu uygulama çalışmasında alt faktörler için belirlenen ağırlık değerlerinin geçiş zorluğu olarak karşılıkları hesaplanmış ve bu değerlere göre bütün katmanlar sınıflandırılmıştır (Tablo 2.21).

Tablo 2.21. Uygulama çalışması için kullanılan sınıflandırma değerleri

Katmanlar Alt Kriterler	Sınıflandırma Değerleri	Katmanlar Alt Kriterler	Sınıflandırma Değerleri
ARAZİ ÖRTÜSÜ		FLORA/FAUNA	
Orman	5	Özel Kuş Türleri Yaşama/Üreme Alanları	9
Ekili Tarım	3	Önemli Bitki Türleri Yetiştirme Alanları	8
Dikili Tarım	4	Yaban Hayatı Geliştirme Alanları	7
Sulak Alanlar	6	Milli Parklar	6
Kayalık Alanlar	7	Doğal Arboretum Alanları	5
Mera	1	Tropik Alanlar	7
Yerleşim (idari merkez)	Bariyer		
EĞİM		REKREASYON	
<10°	1	Yayla	1
10 - 20°	2	Turizm Merkezi	6
20 - 30°	3	Tarihi Eserler	9
30 - 40°	6	Piknik Alanları	2
40 - 50°	7	Mesire yerleri	3
50 - 60°	8		
>60°	9		
JEOLOJİ		KORUMA ALANI	
Asit - ortaç intruzifler	7	I. Derece Sit Alanı	9
Bazik – ultrabazikler	6	II. Derece Sit Alanı	8
Metamorfitletler	5	III. Derece Sit Alanı	5
Volkanitler	2	Kentsel Sit Alanı	9
Sedimanter kayalar	1	Tarihi Sit Alanı	8
TOPRAK		YOL	
I. Sınıf Topraklar	9	Otoyol	9
II. Sınıf Topraklar	8	Karayolu	8
III. Sınıf Topraklar	7	İlçe Yolu	7
IV. Sınıf Topraklar	4	Köy Yolu (asfalt/beton kaplama)	3
V. Sınıf Topraklar	3	Köy Yolu (stabilize)	2
VI. Sınıf Topraklar	2		
VII. Sınıf Topraklar	2		
VIII. Sınıf Topraklar	1		
AKARSU		HEYELAN	
Nehir	7	Aktif Heyelan Alanları	Bariyer
Kanal	6	Potansiyel Heyelan Alanları	8
İrmak	5	Eski Heyelan Alanları	7
Dere	4		
Çay	3		

2.4.9. Ağırlıklı Maliyet Yüzeyinin Oluşturulması

Boru hattı güzergâhına etki eden bütün faktörler son aşamada matematiksel işleme tabi tutularak (tematik anlamda her bir katman ağırlık değerleri ile çarpılır ve ağırlıklı

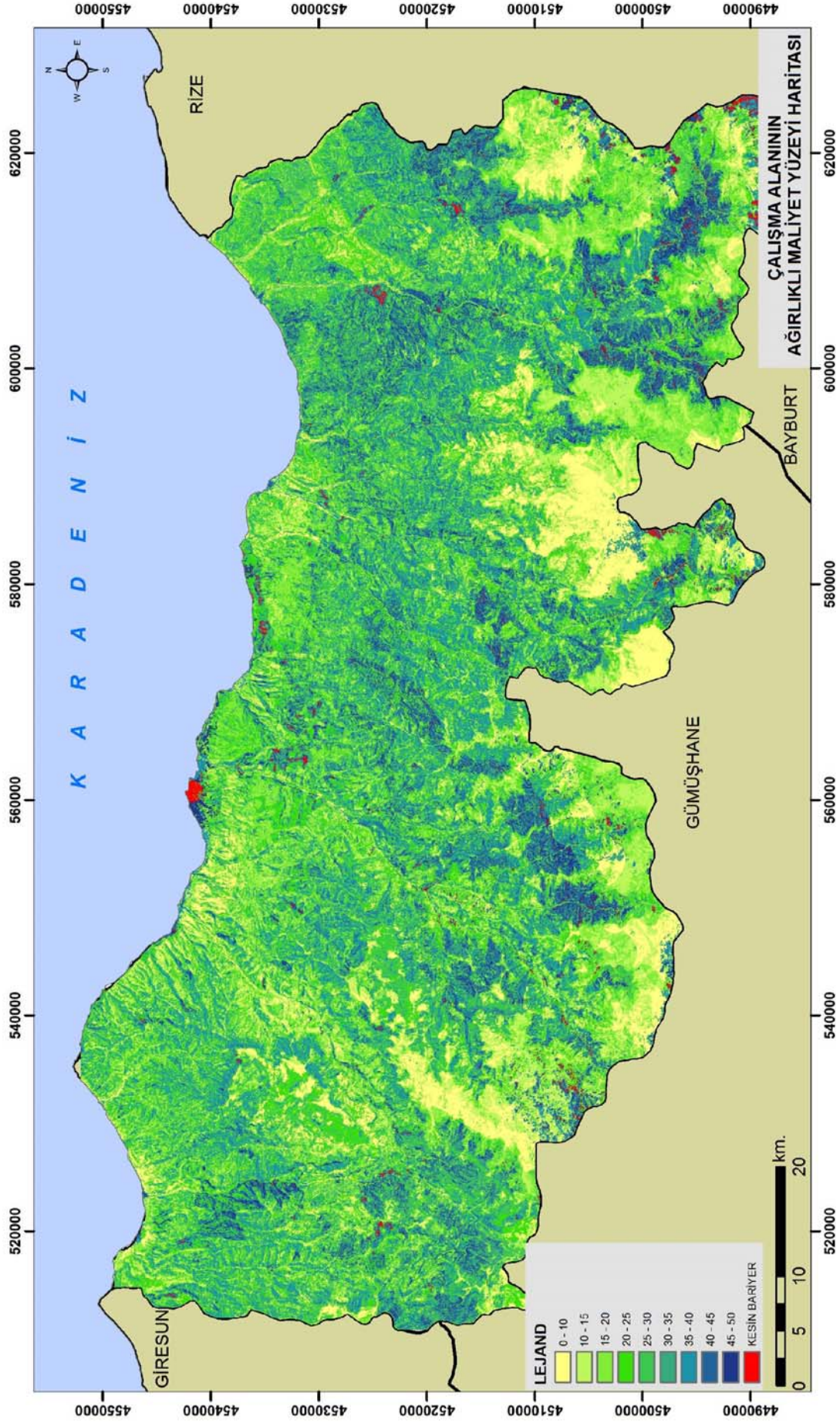
sonuç katmanlar birbiri ile toplanır) ağırlıklı maliyet yüzeyi (weighted cost surface) elde edilir (Şekil 2.32).

Oluşturulan bu veri katmanı, çalışma alanının piksellerle temsilidir. Her bir piksel alt faktörlerin zorluk derecelerinin ve faktör ağırlıklarının hesaplanması ile oluşturulan geçiş maliyeti ya da sürtünme (direnç) değeri olarak ifade edilen sayılarla temsil edilmektedir. Rakamsal değerler arttıkça geçiş maliyeti de artar.

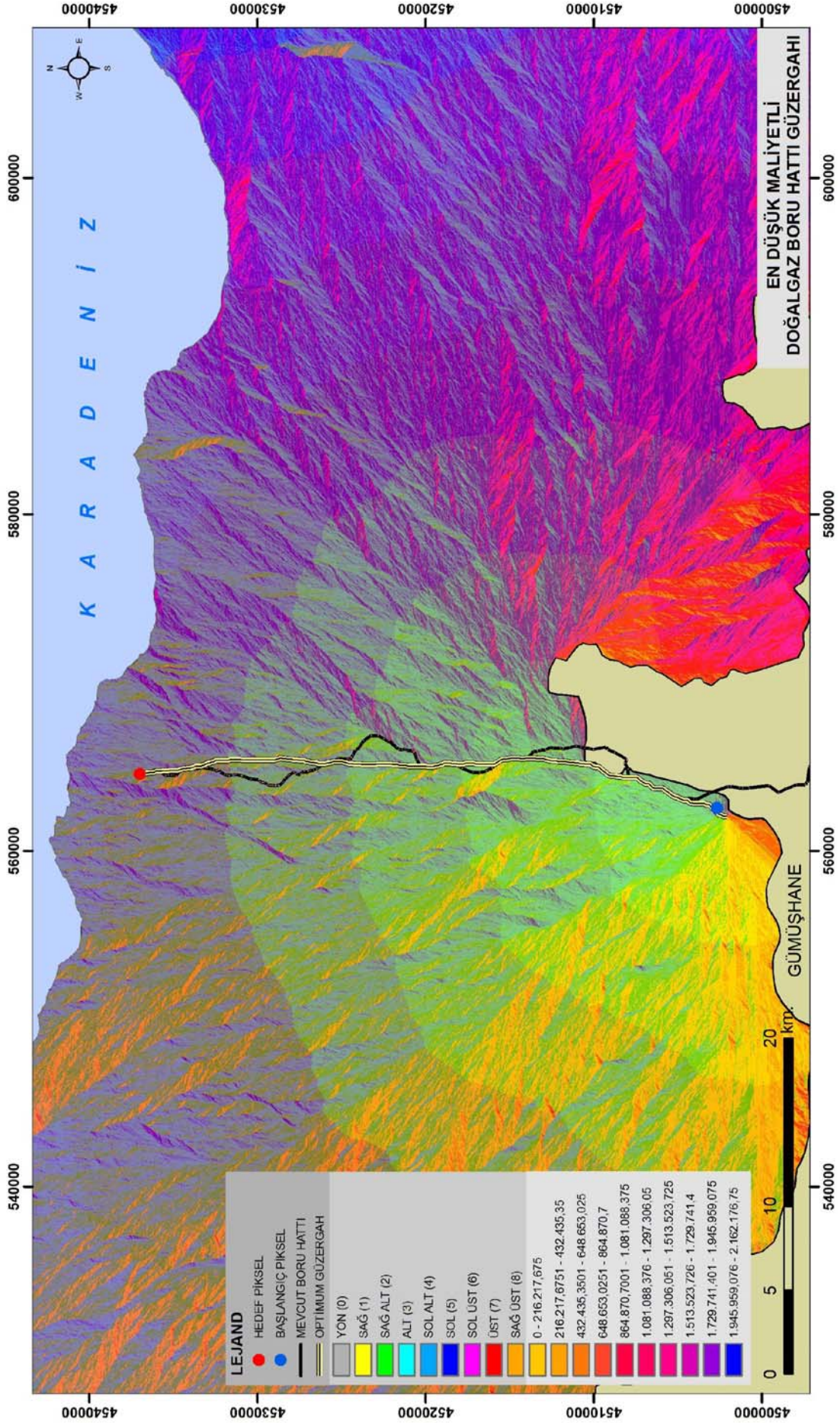
Şekil 2.31’de kesin engel olarak belirlenen yerleşim birimleri (il merkezi, ilçe merkezi, belde merkezi ve köy merkezi) ve aktif heyelanlı alanlar görülmektedir. Belirlenecek olan güzergâhın bu alanlardan kesinlikle geçmemesi gerekmektedir.

2.4.10. En Uygun Güzergâhın Seçimi

Ağırlıklı maliyet yüzeyi bulunduktan sonra ki aşama verilen noktalar arasındaki en uygun güzergâhı belirlemektir. Bu aşamada seçilen algoritmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Verilerin raster tabanlı tutulması ve büyük alanların irdelenmesinden kaynaklanan performans problemleri ve algoritmanın etkinliğinden kaynaklanan doğruluk problemlerinin bir bütün içinde irdelenerek uygun kararın verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada kullanılan bu algoritma da (cost distance algorithm) temel yaklaşım, başlangıç ve bitiş piksellerine 0 değeri atanarak bütün yüzeye ait birikmiş toplam maliyet yüzeyinin (accumulated cost surface) ve bu değerler doğrultusunda hareket yönünü gösteren bir ara katmanın oluşturulmasıdır (Şekil 2.32). Uygulamada birikmiş toplam maliyet yüzeyi üzerinden başlangıç ve bitiş noktalarına gören uygun güzergâh tespit edilmiştir.



Şekil 2.31. Çalışma bölgesine ait ağırlıklı maliyet yüzeyi haritası



Şekil 2.32. Birikmiş toplam maliyet yüzeyi üzerinden en uygun DĞİH güzergâhının tespiti

2.5. Uygulama: Türkiye İçin Sürdürülebilir DGİH Güzergâh Planlaması

DGİH'lerin güzergâh belirleme çalışmaları için oluşturulan raster CBS tabanlı modelin Türkiye ölçeğinde uygulanabilirliğinin gösterilmesi açısından bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, uzun süredir gündemde olan, son zamanlarda hayata geçirilmesi için somut adımlar atılan ve halen fizibilite çalışmaları sürdürülen NABUCCO DGİH ve Mısır-Türkiye DGİH projeleri için bu tez kapsamında geliştirilen modelle güzergâh belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak DGİH güzergâhına etki edecek faktörlere dayalı olarak verilerin elde edilebilirliği irdelenmiştir. Çalışma bölgesinin büyüklüğüne bağlı olarak özellikle konumsal veri temininde problemler yaşanmıştır. Kullanılan konumsal veriler, verinin kaynağı ve ölçeği Tablo 2.22'de gösterilmiştir. Geliştirilen modelin ülke ölçeğinde de kullanılabilirliğini test etmek için yapılan bu uygulamada, güzergâha etki edecek faktörlere bağlı olarak bazı veriler elde edilemediğinden değerlendirmeye katılmamıştır. Ancak yapılan çalışmalarda DGİH güzergâhına etki eden faktörlerin büyük bir çoğunluğunun değerlendirmeye alınması halinde, eksik veriler (ağırlık değerlerine de bağlı olarak), güzergâhı tanımlanan koridor dışına çıkacak şekilde değiştirmemektedir (Yildirim vd., 2008).

Tablo 2.22. NABUCCO DGİH güzergâh planlamasında kullanılan veriler

Varlıklar	Varlık Tipi	Katman Adı	Öznitelik	Veri Kaynağı	Edinme Tarihi	Ölçek
Eşyükseklik Eğrileri	Çizgi	EGIM	Length, Esyuk_Id, Kot	HGK – Dijital Standart Topografik Haritalar	2008	1/100.000
Jeoloji Haritası	Alan	JEOLLOJI	Area, Perimeter, Litoloji	MTA Genel Müdürlüğü	2008	1/500.000
Fay Hatları	Çizgi	FAY	Length, Fay_Id, Turu	MTA Genel Müdürlüğü	2008	1/500.000
Akarsu	Çizgi	AKARSU	Length, Akarsu_Id, Akarsu_adi, Debi	MTA	2008	1/100.000
Karayolu	Çizgi	KARAYOLU	Shape, fnode, tnode, karayolu, Id, Adi, Cinsi, Grup, Tipi, Durumu	Karayolları Genel Müdürlüğü	2008	1/100.000
Demiryolu	Çizgi	DEMIRYOLU	Shape, fnode, tnode, demiryolu, Id, Cinsi, Tipi	Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü	2008	1/100.000
İdari Merkez	Nokta	IDARIMER	İdarimer_Id, Adi, Turu, Nufus	Köy Hizmetleri	2008	1/100.000
Göl	Poligon	GOL	Shape, Area, Perimeter, GolId, Adi	HGK – Dijital Standart Topografik Haritalar	2008	1/100.000
Orman	Poligon	ORMAN	Shape, Area, Perimeter, OrmanId, Turu	Orman Genel Md. Mescere Haritaları	2008	1/100.000

Bu çalışmada verilerin ölçeğine bağlı olarak piksel boyutu 250 m seçilmiştir. Özellikle bu tür büyük çaplı projelerde raster tabanlı ağ analizi tekniği kullanılarak bulunan güzergâhlar, piksel boyutuna bağlı olarak bir çizgi değil bir koridor olarak tanımlanmaktadır. Bu şekilde büyük piksel boyutları kullanılarak belirlenen güzergâh yüzey üzerinde bir koridoru temsil etmektedir. Bu koridor içinde daha hassas veriler kullanılarak, 20 - 30 m genişliğinde ki boru hattı inşaat güzergâhı belirlenebilmektedir.

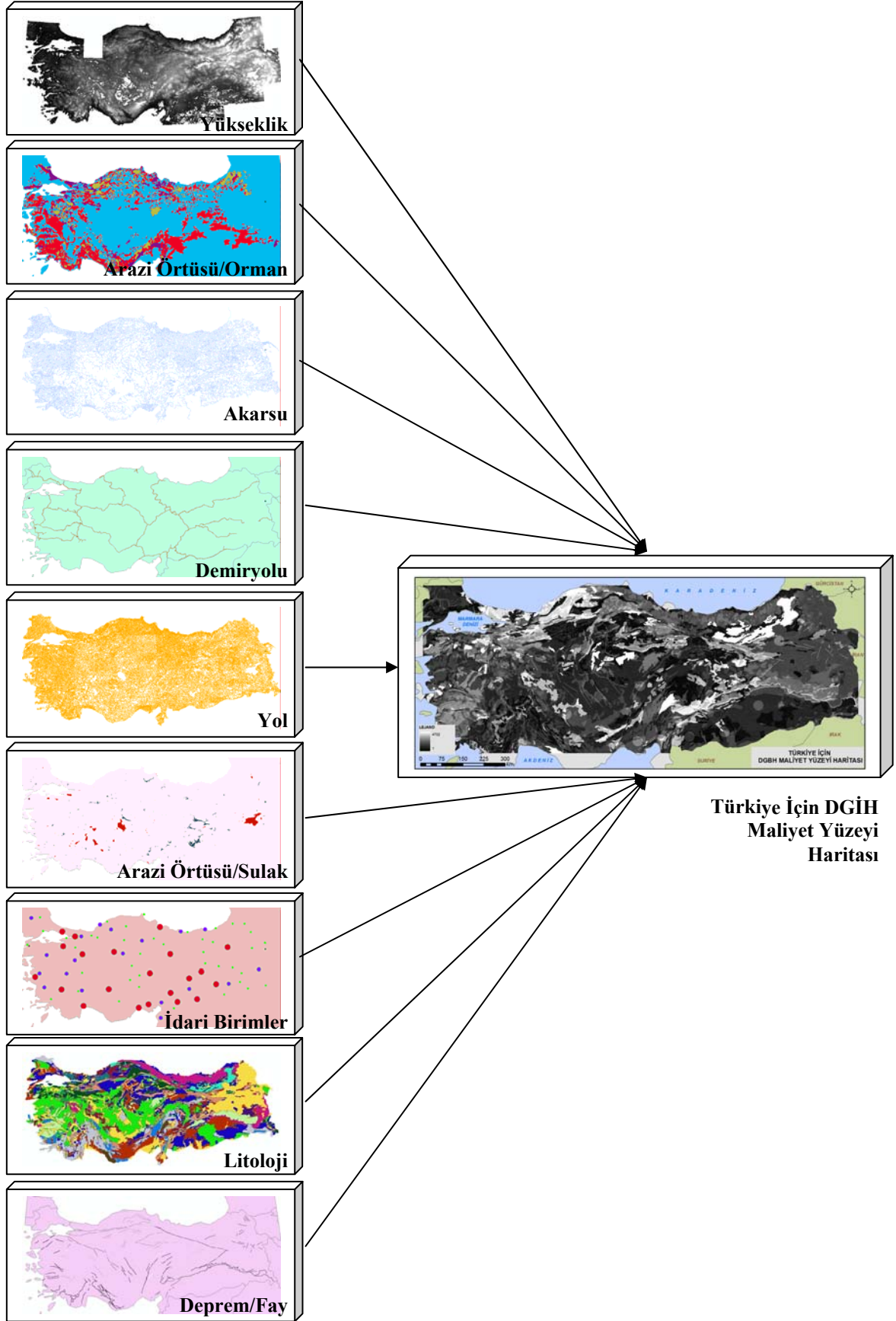
2.5.1. Veri katmanlarının Oluşturulması

DGİH güzergâhı belirlemek için önerilen bu modelin, uygulanabilmesi için öncelikle güzergâha etki eden faktörlere göre veri katmanları oluşturulmuştur (Şekil 2.33). Bu süreçte verilerin bir bölümü direkt dijital olarak, bir bölümü de basılı haritalar üzerinden sayısallaştırma yöntemi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada da veri toplama, işleme, düzeltme ve depolama süreci uzun zaman almıştır.

2.5.2. Veri İşleme ve Projeksiyon Sisteminin Belirlenmesi

Mühendislik projeleri ve CBS uygulamalarında farklı veri katmanları ile çalışılması durumunda koordinat altlığının ortak olması, kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlar. Bu tür uygulamaların, bilgisayar ortamında görsel ve sayısal olarak yapıldığı düşünülürse ortak koordinat sisteminin önemi daha da artmaktadır. Koordinat sisteminin ortak olmamasının getireceği olumsuzluk, projenin birden fazla koordinat sisteminde saklanması ve çakışma bölgelerindeki dönüşüm hesabı yüküdür.

Türkiye’de; ülke nirengi ağına dayalı 1/25000 ölçekli temel haritalar 6°, büyük ölçekli kadastral ve 1/5000 ölçekli Standart Topografik ve Standart Topografik Kadastral haritalar da 3° dilim genişlikli Gauss-Krüger sisteminde üretilmiştir. Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğine göre; yatay kontrol noktalarının koordinatları, ülke nirengi sisteminin Gauss-Krüger projeksiyonunda üç derecelik dilim esasına göre belirlenir. Türkiye için; 3° lik dilim genişlikli Gauss-Krüger tasvirinin (Değiştirilmiş UTM veya kısaltılmış olarak DUTM) dilim orta meridyenleri 27°, 30°, 33°, 36°, 39°, 42° ve 45° iken, 6° lik dilim genişlikli Gauss-Krüger tasvirinin (UTM) dilim orta meridyenleri 27°, 33°, 39° ve 45° dir.



Şekil 2.33. Türkiye ölçeğinde DGIH'lerin güzergah tespitinde kullanılan veri katmanları

Mühendislik ve CBS uygulamalarında projenin komşu dilimlerdeki fazla kısmı 0.5° veya 1° lik bindirme bölgesi içindeyse dilim dönüşümü yapılabilir. Şayet uygulama alanı komşu dilimde bindirme bölgesinin dışına taşıyorsa dilim dönüşümü yapılmaz. Bu durumda, projede tek bir koordinat sisteminde çalışmak mümkün olmaz ve UTM sisteminden başka sistemlere geçiş yapılması gerekir. Dönüşüm ve farklı sistemlere geçiş işlemi de yine kullanıcıların bilgi noksanlığından dolayı projenin uygulanmasında hatalara ve zaman kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla, tek UTM dilimini aşan Mühendislik ve CBS uygulamaları için mevcut UTM sistemi yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı, bu sistemden başka tasvir yöntemlerine geçiş işlemi yapılmalıdır.

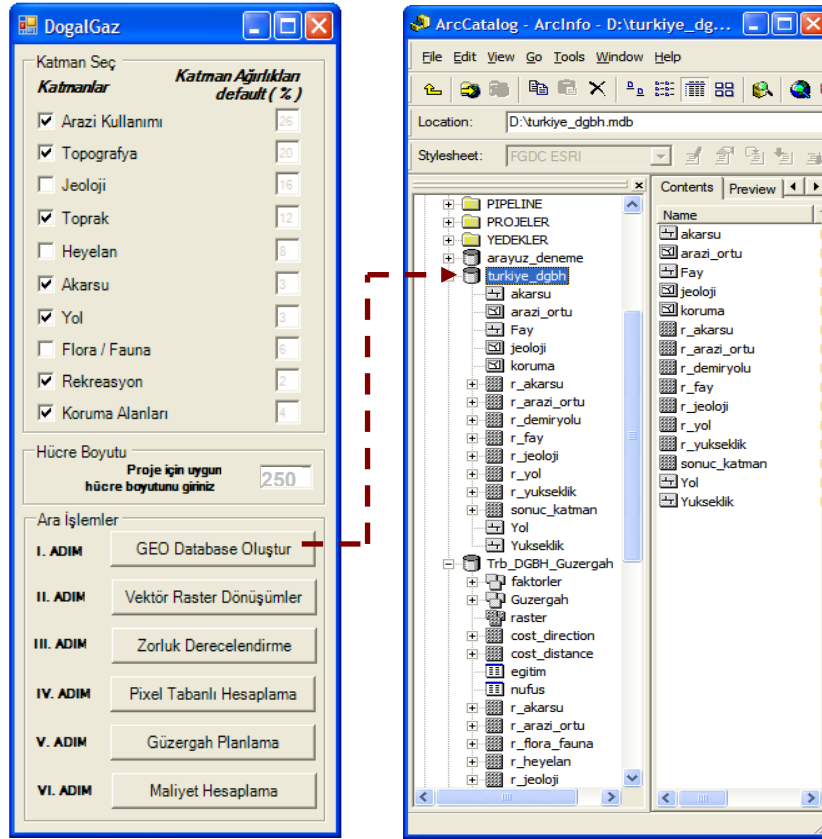
Çift Standart Paralelli Lambert Konform Konik Tasvir sisteminin doğu-batı yönünde, yani boylam farkı genişliği büyük alanlarda kullanılması uygundur. Tek standart paralelden kuzeye ve güneye gidildikçe meydana gelen bozulmaların önüne geçmek ve azaltmak amacıyla, çift standart paralelli lambert konform konik tasvir projeksiyon sistemi önerilmektedir (Yildirim, 2004).

Türkiye için çift standart paralelli Lambert Konform Konik Tasvir sisteminde; ($B1=37^\circ30'$; $B2=40^\circ30'$) standart paraleli ve ($B0=39^\circ$; $L0=35^\circ30'$) olarak alınması en uygundur (Yildirim, 2004).

2.5.3. Maliyet Yüzeyi Haritasının Oluşturulması

Veri katmanları oluşturulduktan sonraki aşamada geliştirilen arayüz üzerinden işlem adımları takip edilerek Türkiye için DGİH maliyet yüzeyi haritası oluşturulmuştur. Bu bağlamda aşağıdaki işlem sırası izlenmiştir:

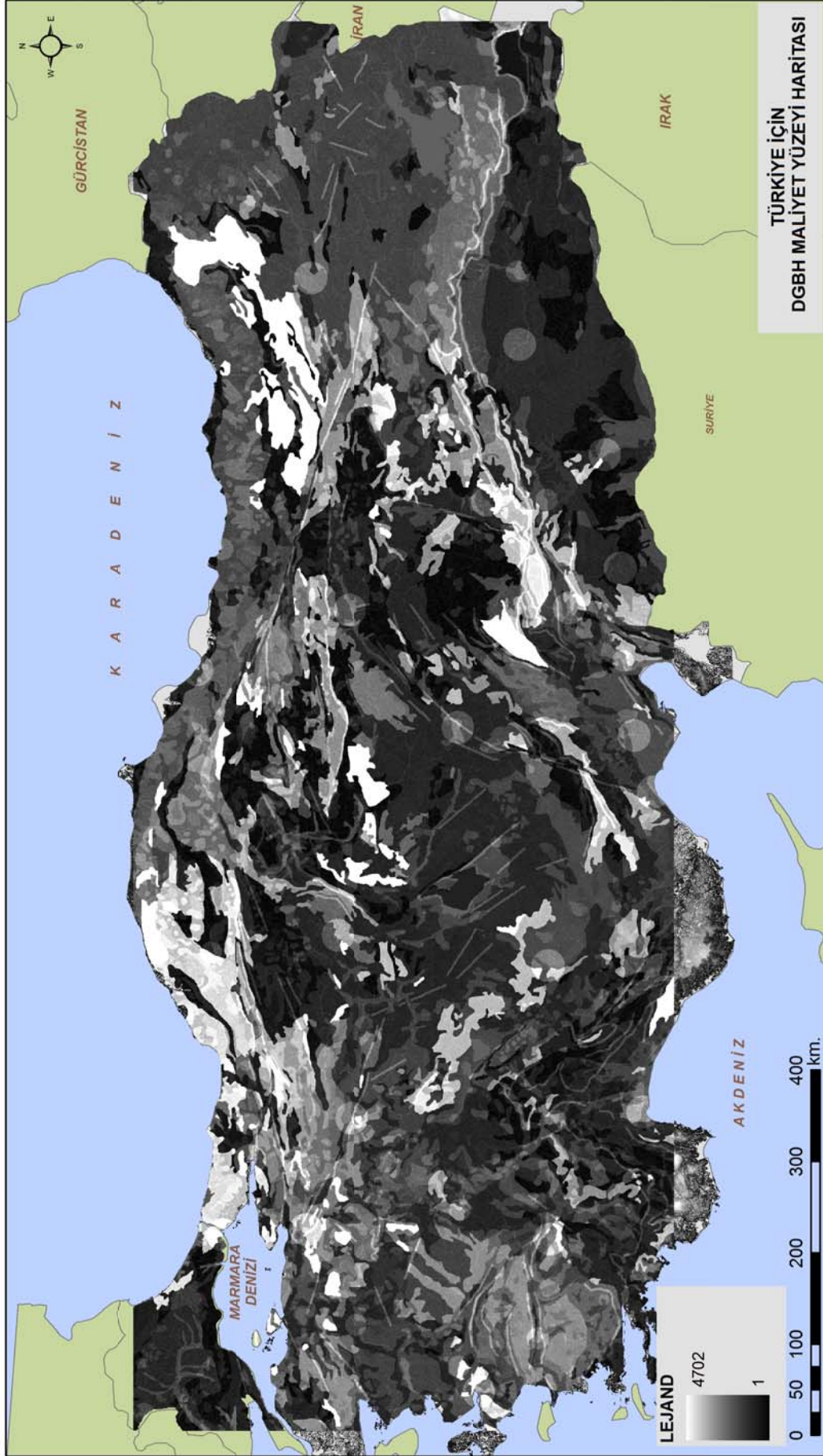
- 1- Faktör ağırlıkları, bulunan “default” değerler olarak değiştirilmeden kullanılmıştır.
- 2- Piksel boyutu olarak 250 m belirlenmiştir.
- 3- Veri katmanları ve diğer dosyalar için “turkiye_dgih.mdb” oluşturulmuştur.
- 4- “turkiye_dgih.mdb” içinde ilgili veri setleri oluşturulmuştur (Şekil 2.34).
- 5- Sınıflandırma işlemi için modelde önerilen değerler değiştirilmeden kullanılmıştır.
- 6- Son aşamada piksel tabanlı aritmetik işlem gerçekleştirilerek Türkiye için DGİH maliyet yüzeyi haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.35).



Şekil 2.34. Türkiye ölçeğinde DGİH güzergâh tespiti için oluşturulan veri dosyalama görüntüsü

Oluşturulan maliyet yüzeyi haritası üzerinden her türlü DGİH güzergâh tespiti sorgulaması yapılabilmektedir. Türkiye için gerçekleştirilen bu uygulamada bulunan güzergâh genişliği 250 m dir. Bu genişlikteki bir koridor içinde daha hassas veriler kullanılarak kesin güzergâh olarak adlandırılan inşaat güzergâhına kolayca erişilebilmektedir.

Oluşturulan bu maliyet yüzeyi haritası üzerinden başlangıç ve bitiş noktalarına göre NABUCCO ve Mısır-Türkiye DGİH için olası güzergâhlar belirlenmiştir. Başlangıç ve bitiş noktaları kesin olmamakla birlikte ilgili kurum ve kuruluşların hazırladığı dokümanlardan yararlanarak yaklaşık olarak belirlenmiştir. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi farklı başlangıç, bitiş ve durak noktaları da tanımlanmış olursa model üzerinden en etkin çözüme kolayca ulaşılabileceği görülmüştür.



Şekil 2.35. Türkiye için DGBH maliyet yüzeyi haritası

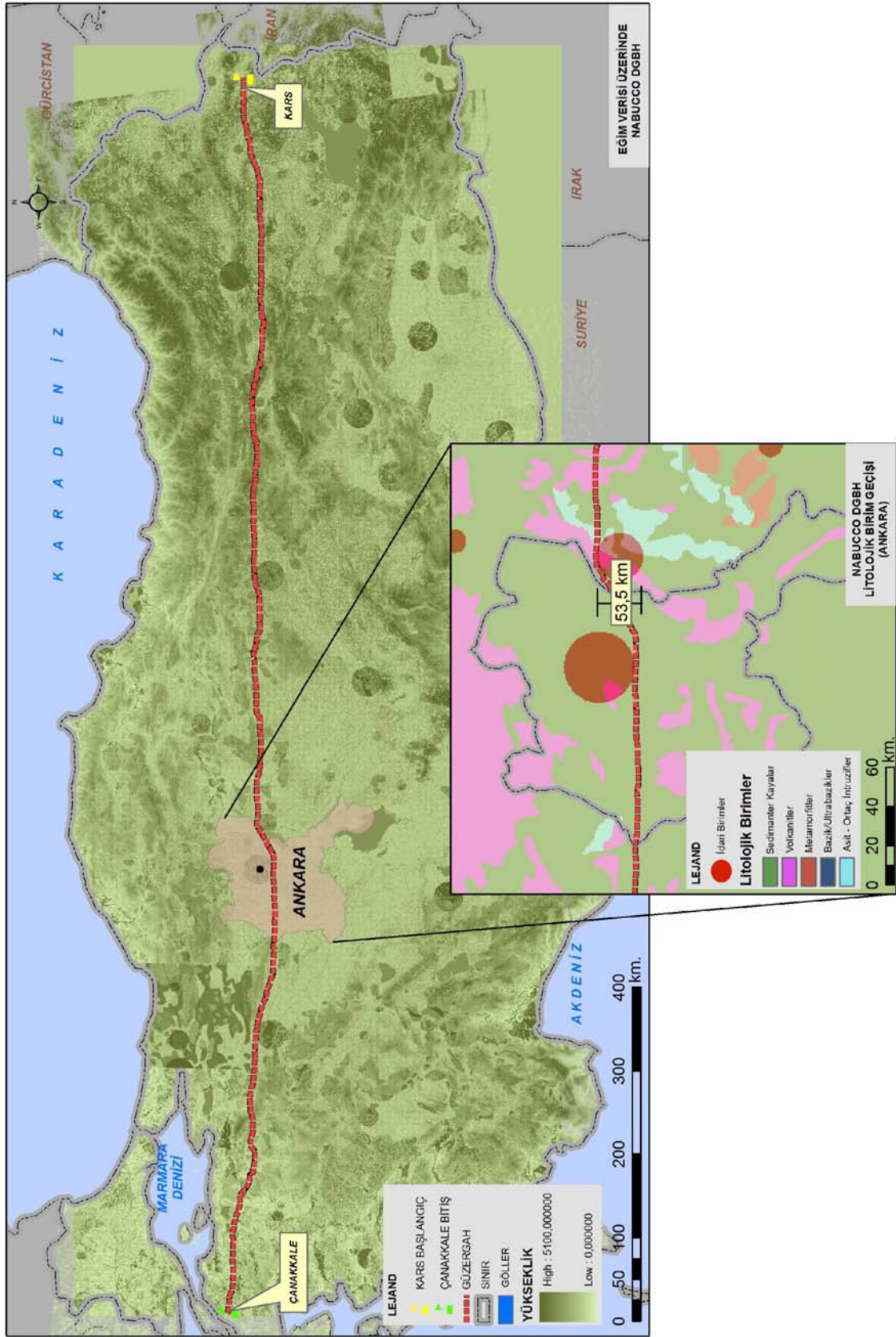
2.5.4. Örnek 1: NABUCCO DGİH Güzergâhının Belirlenmesi

NABUCCO projesi için önerilen boru hattı uzunluğu yaklaşık 1584 km olarak belirlenmiştir. Kars'dan başlayarak Çanakkale'ye kadar toplam 11 il'den geçmektedir. İl idari sınırı olarak en uzun geçişi 332,8 km ile Kars İli'nden, en kısa geçişi ise 71,9 km ile Kırıkkale İli'nden yapmaktadır. Güzergâh, 2'si otoyol olmak üzere toplam 423 kez yol geçişi yapmıştır (Şekil 2.36).



Şekil 2.36. NABUCCO DGİH'nin yol geçişleri

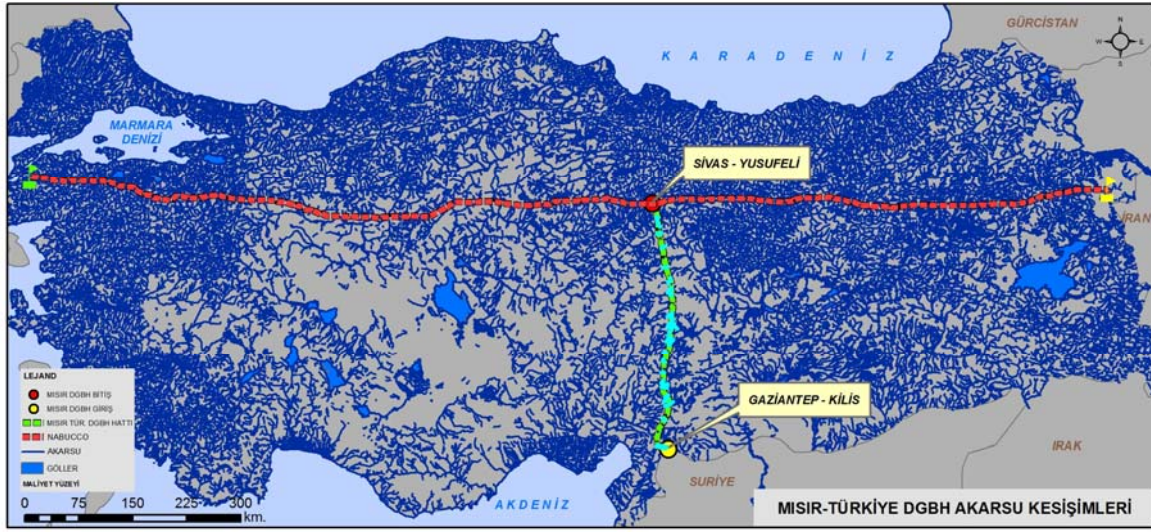
Doğu sınırında Kars İli'nden başlayarak, batıda Çanakkale'de bitecek olan NABUCCO DGİH'nin 1/100.000 ölçekli eğim haritası üzerindeki güzergahı Şekil 2.37'de gösterilmiştir. Güzergah düz bir hat gibi görünse de faktör ağırlıklarına bağlı olarak bazı geçişlerde önemli mesafelerde sapmalar yapmaktadır. Örneğin Ankara il sınırları içinde DGİH'nin yerleşim yoğunluğu olan alanlardan geçmemesi için hat doğrultusundan yaklaşık 53,5 km kaydığı görülmüştür.



Şekil 2.37. NABUCCO DGBH'nin yükseklik verisi üzerinde gösterimi

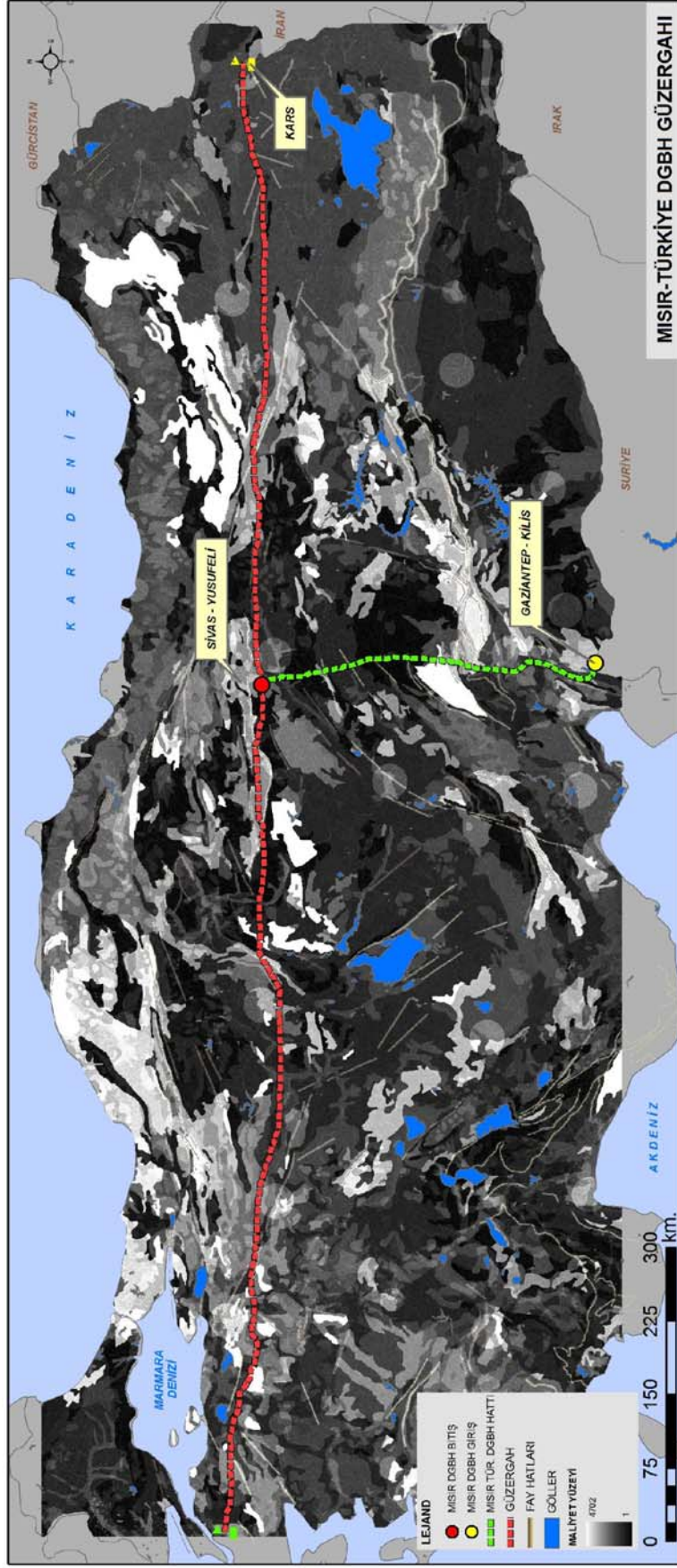
2.5.5. Örnek 2: Mısır - Türkiye DĞİH Güzergâhının Belirlenmesi

Mısır – Türkiye DĞİH projesi için önerilen boru hattı uzunluğu yaklaşık 387 km olarak belirlenmiştir. Gaziantep’in Kilis ilçesinden başlayarak Sivas Yusufeli ilçesine kadar 4 ilden geçmektedir. İl idari sınırı olarak en uzun geçişi 124,1 km ile Sivas İli’nden, en kısa geçişi ise 49 km ile Gaziantep İli’nden yapmaktadır. Güzergâh, 1’i nehir olmak üzere toplam 28 kez akarsu geçişi yapmıştır (Şekil 2.38.).



Şekil 2.38. Mısır – Türkiye DĞİH’nın akarsu geçişleri

Oluşturulan DĞİH güzergâh planlama modeli ve geliştirilen arayüz üzerinden Mısır’dan gelip İsrail ve Suriye üzerinden Türkiye pazarına ve oradan da Avrupa’ya gaz iletmeyi planlayan Türkiye – Mısır DĞİH güzergâhının, maliyet yüzeyi üzerinden geçişi Şekil 2.39’da gösterilmiştir.



Şekil 2.39. Mısır – Türkiye DGBH’nin maliyet yüzeyi haritası üzerinde gösterimi

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Model Performansının Değerlendirilmesi

Ekonomik, sosyolojik ve çevresel kıstaslar dikkate alındığında DGİH projeleri etkin yönetim gerektiren karmaşık projeler olarak tanımlanmaktadır. Bu projelerin başlangıcından bitişine kadar geçen süreçte önemli işlem adımlarından bir tanesi güzergâh belirlemedir. Yapılan bu çalışmada, öncelikle güzergâh tespitine etki eden faktör ve alt faktörlerin belirlenmesi, bunlara ait ağırlık katsayılarının hesaplanması ve bu verilere bağlı olarak bir otomasyon süreci içinde en uygun güzergâhın belirlenebileceği bir modelin oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmanın sonucunda DGİH güzergâh tespiti için CBS destekli, dinamik yapıda bir raster güzergâh planlama modeli oluşturulmuştur. Modelin etkin kullanılabilmesi amacıyla bir arayüz geliştirilmiş ve bu arayüz üzerinden Trabzon ve Türkiye DGİH alan çalışmaları gerçekleştirilerek model ve arayüz test edilmiştir.

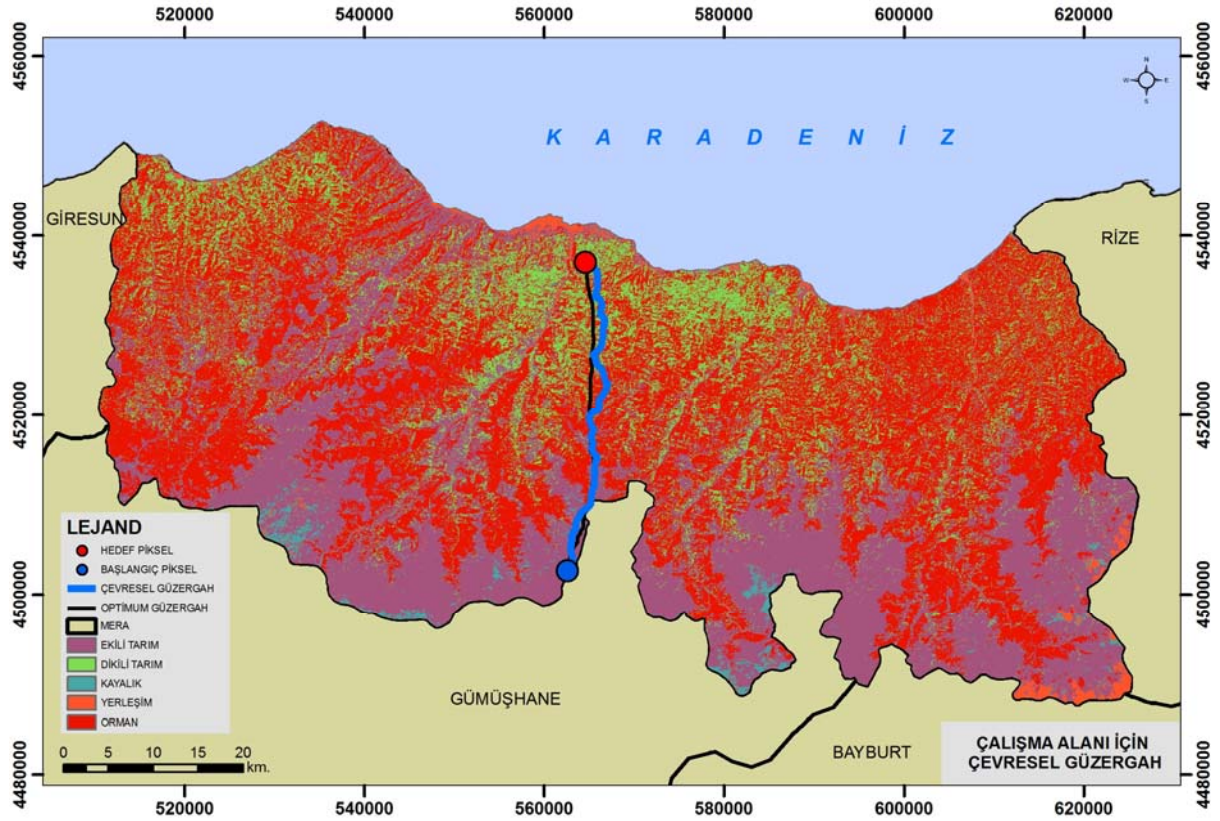
Çalışmanın bu bölümünde DGİH'ler için oluşturulan raster tabanlı güzergâh belirleme modeli ve buna bağlı geliştirilen arayüz üzerinden model performansını değerlendirmeye yönelik sorgulamalar yapılmıştır.

3.1.1. Çevresel En Uygun Güzergâh

Oluşturulan bu model ile DGİH güzergâh tespitinde, çalışma alanındaki çevresel duyarlılık değerlerine bağlı olarak, çevresel olarak en az tahribatın yapılacağı güzergâhlar kullanıcı tarafından dinamik olarak oluşturulabilmektedir. Arayüz üzerinden, çevresel açıdan geçilmemesi gereken alanların ağırlık değerleri arttırılarak çevresel en uygun güzergâh belirlenebilmektedir. Şekil 3.1'de çalışma bölgesine ait çevresel açıdan duyarlı güzergâh gösterilmiştir.

DGİH için geliştirilen raster tabanlı güzergâh belirleme modeli üzerinden bulunan “çevresel güzergâhın” optimum güzergâha göre daha az orman alanı ve koruma alanı geçişi yaptığı görülmüştür. Çevresel açıdan duyarlılık değerine sahip olan bir diğer faktör akarsu katmanıdır. Çevresel güzergâhın optimum güzergâha ve mevcut boru hattı güzergâhına göre daha az akarsu geçişi yaptığı görülmektedir. Ancak bunun yanında

ekonomik açıdan irdelendiğinde bu güzergâhın ekonomik maliyetinin optimum güzergâhtan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, güzergâhın çevresel duyarlı alanları korumak karşılığında ekonomik açıdan maliyet arttırıcı yol ve demiryolu geçişi, kayalık alan geçişi, yüksek eğimli alan geçişi vb. faktörlerin ağırlık değerlerinin model içinde azaltılmış olmasıdır.

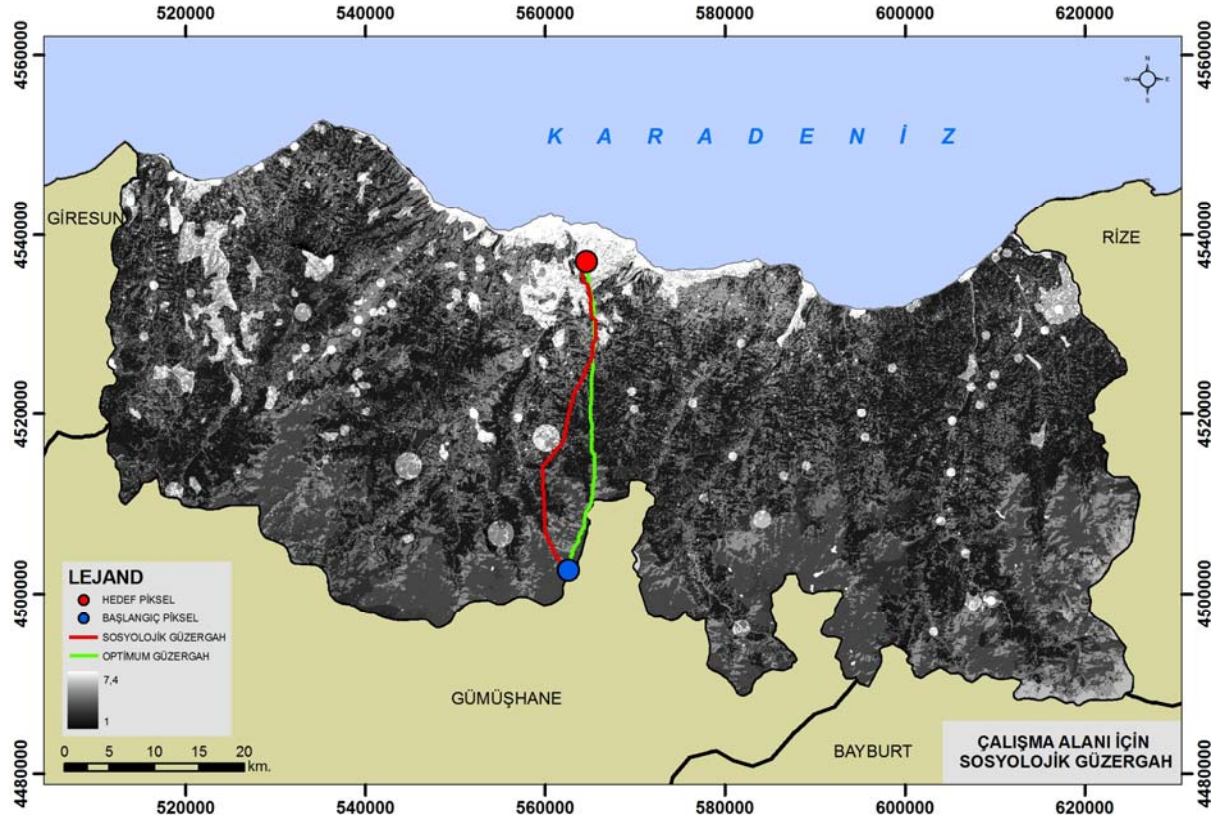


Şekil 3.1. Çalışma bölgesine ait çevresel güzergâh

3.1.2. Sosyolojik En Uygun Güzergâh

DGİH güzergâhı tespitinde kullanılmak üzere geliştirilen bu modelde kullanıcı faktör ağırlıklarının dinamik olarak değiştirmek suretiyle en sosyolojik güzergâhı bulabilmektedir. Güzergâhın sosyolojik açıdan en uygun geçişini sağlayacak faktörlerin (Tablo 2.4) ağırlık değerleri arayüz üzerinde değiştirilerek çalışma bölgesine ait sosyolojik güzergâh belirlenmiştir. Belirlenen bu güzergâh yerleşim merkezlerinden ve nüfus yoğunluğu olan alanlardan geçmemektedir. Bunun yanı sıra güzergâhın sosyolojik anlamda önem arz eden ekili/dikili tarım alanları ve toprak kalitesi yüksek olan alanlardan optimum güzergâha

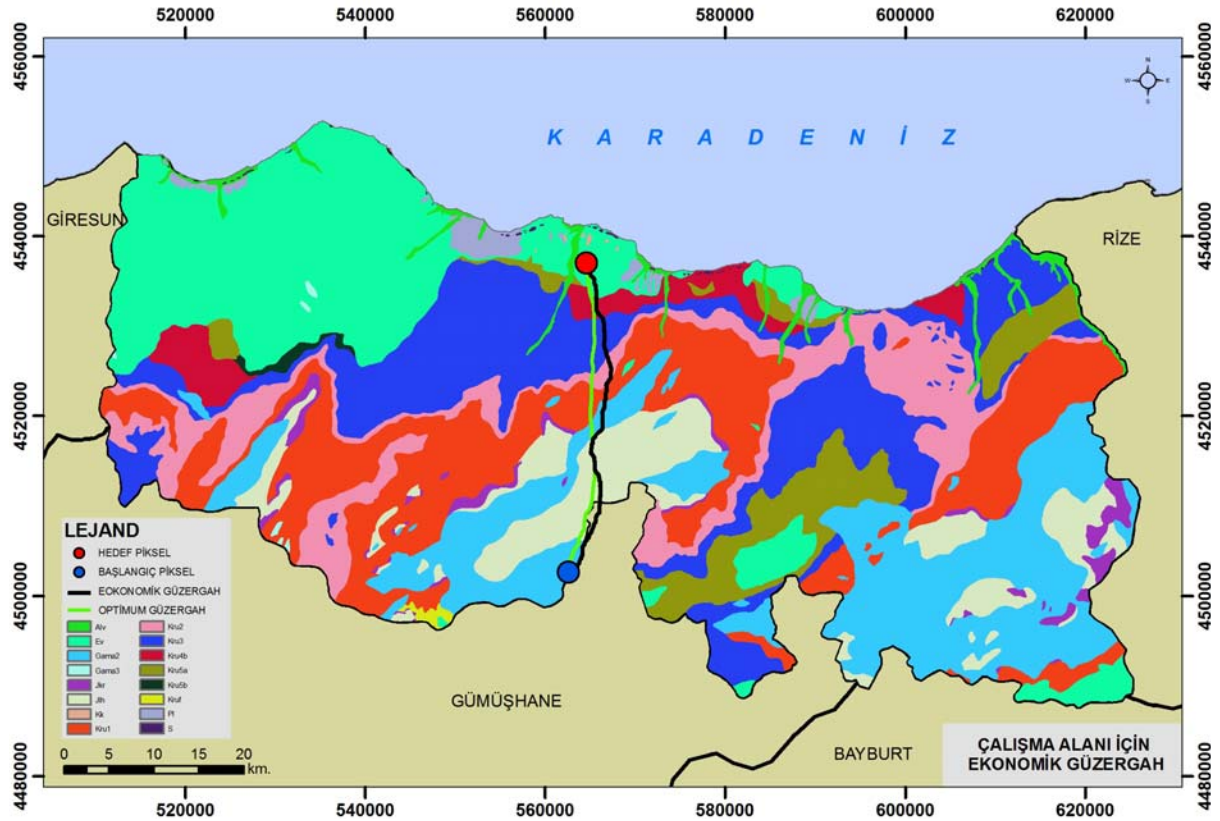
göre daha az geçiş yaptığı belirlenmiştir. Sosyolojik güzergâhta rekreasyon ve koruma alanı geçişleri diğer güzergâhlara göre daha azdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma bölgesine ait sosyolojik güzergâh

3.1.3. Ekonomik En Uygun Güzergâh

DGİH güzergâhlarının belirlenmesinde mevcut durumda ekonomik kriterler daha ön plana çıkmaktadır. Özellikle çok uzun mesafelerde tesis edilen sınır aşırı boru hatları için ekonomik güzergâhlar tercih edilir. Bu tür projelerde kısmi olarak özel geçiş alanlarında çevresel ya da sosyolojik kriterler dikkate alınmaktadır. Geliştirilen bu modelde kullanıcı projenin ekonomik gelişimini etkileyecek faktörlere ait ağırlıkları dinamik olarak değiştirebilmekte ve en ekonomik güzergâhı belirleyebilmektedir (Şekil 3.3). Bu bağlamda ekonomik güzergâh tespitinde boru hattı çevresel duyarlı alanlara zarar verebilmekte ya da yerleşim birimlerine yaklaşılarak sosyolojik sorunlar ortaya çıkarabilmektedir.

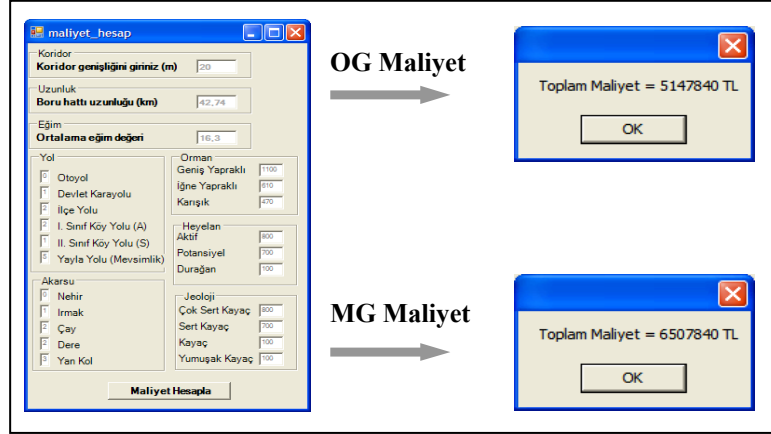


Şekil 3.3. Çalışma bölgesine ait ekonomik güzergâh

3.2. Modelin Ekonomik Maliyet Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Arayüz içinde geliştirilen maliyet hesaplama modülü ile yapılan analizde, model üzerinden belirlenen optimum güzergâha ait yapım maliyetinin, mevcut güzergâhın yapım maliyetinden yaklaşık %21 daha ucuz olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.4). Optimum güzergâh için akarsu ve yol geçişi ile heyelan alanı geçişi sayısının mevcut güzergâha göre daha az olması, bu maliyet farkını ortaya çıkaran en önemli etkidir. Bunun yanı sıra eğim farkı, jeolojik birimler ve toprak yapısı maliyete etki eden diğer faktörlerdir.

ÇMY'lerin bütünü için tasarlanan bu modelde, kullanıcının dinamik olarak üreteceği güzergâhlar ya da farklı yaklaşımlarla klasik yöntemlerle belirlenecek alternatif güzergâhlara ait maliyet hesaplaması yapılabilmektedir. Böylece model üzerinde alternatif güzergâhlar arasından en uygun olanı daha kolay ve daha doğru belirlenebilmektedir.



Şekil 3.4. Modelin maliyet etkinliği

Geliştirilen bu model üzerinden; Trabzon DGİH hattı için yapılan uygulamada piksel boyutu 20 m, işlem süresi 12 dakika ve NABUCCO DGİH güzergâhı tespitinde piksel boyutu 250 m, işlem süresi 34 dakika olarak belirlenmiştir.

3.3. Güzergâh Optimizasyonu

Birçok durumda ÇMY projeleri için güzergâh belirleme sürecinde klasik yöntemler kullanılmaktadır. Bu tür durumlarda başlangıç ve bitiş noktaları arasında birden fazla güzergâh tespit edilmekte ve bazı kriterler dikkate alınarak bu güzergâhlar içinden en uygun olanı seçilerek sonuca gidilmektedir. Bu tür durumlarda da karar verici alternatif güzergâhlar arasından en uygun olanını ÇKKV yöntemlerinden birini kullanarak belirleyebilmektedir.

Oluşturulan bu model DGİH projesi için belirlenmiş alternatif güzergâhlar arasından, en uygun güzergâhın seçilebilmesinde AHY'nin etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Mevcut durumda aynı çalışma bölgesinde farklı faktör ağırlıkları kullanılarak üç farklı güzergâh tespiti yapılmıştır. Bu güzergâhlar daha sonra AHY kullanılarak değerlendirmeye tabi tutulmuş ve aralarından en uygun güzergâh seçilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, mevcut durumda inşaat çalışması bitirilmiş DGİH mevcut güzergâhı (MG), raster tabanlı güzergâh planlama modeli ile oluşturulan optimum güzergâh (OG), alternatif güzergâh I (AI) ve alternatif güzergâh II (AII) olmak üzere dört farklı güzergâh oluşturulmuş (Şekil 3.5) ve bu güzergâhlar içinde en etkin olanı AHY yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

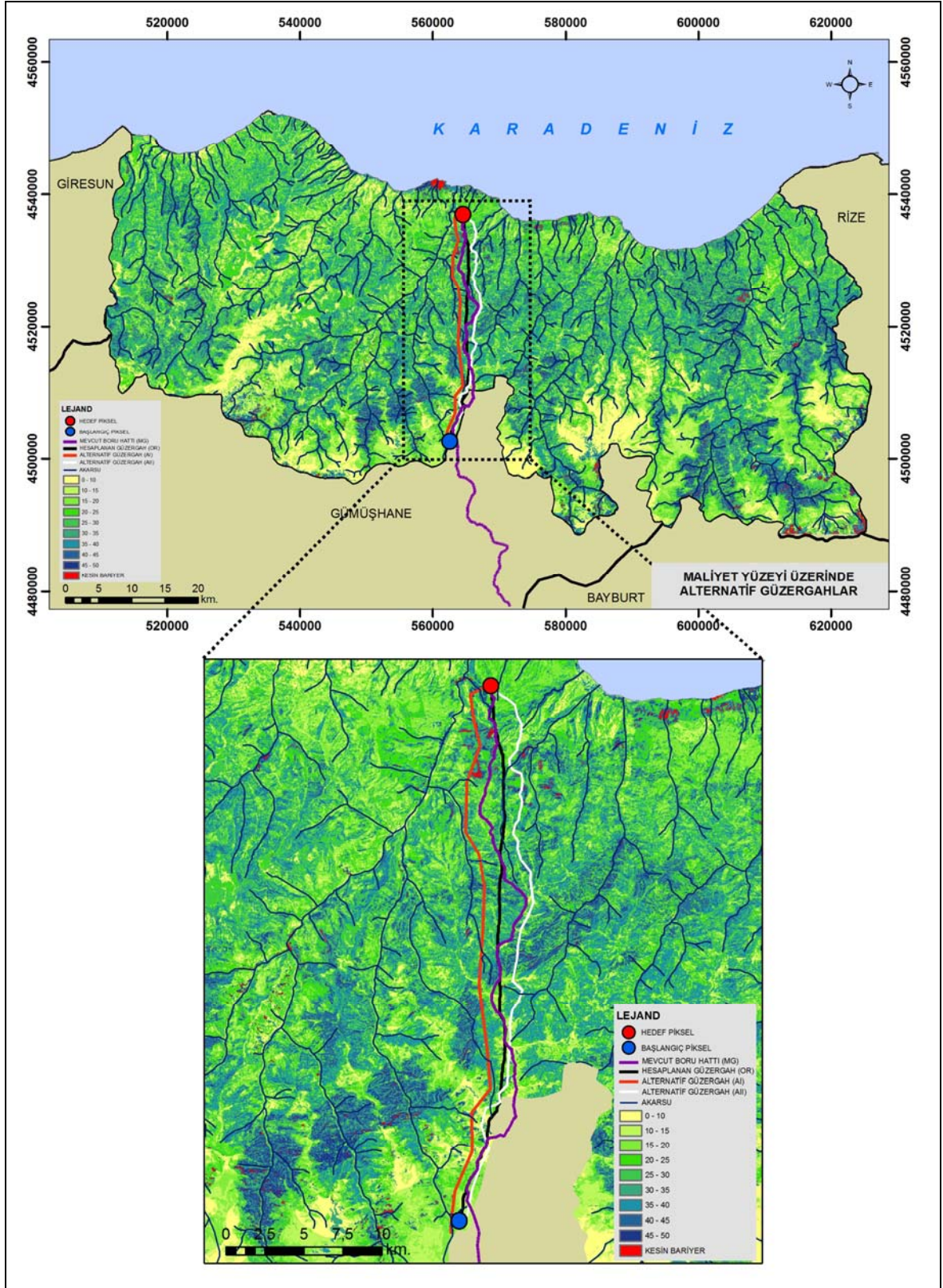
Boru hattı projelerinin fizibilite analizlerinde arz ve talep noktaları arasında en kısa mesafenin bulunması şu anda Dünyada yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Bu tür uygulamalarda boru çapı, boru içinden geçecek ürün miktarı ve ara istasyon noktaları gibi diğer teknik parametreler kullanılarak birkaç adet alternatif güzergâh üretilmekte ve sonrasında gerçekleştirilen finansal analizlerle en optimum güzergâh belirlenmektedir.

Boru hattı güzergâh seçimine etki eden faktörler hem objektif ve hem de subjektiftir. Bu faktörler doğada sürekli uyumsuzluk halindedirler ve bir faktörün uygulanması diğer faktörlerin uygulanmasını engelleyebilmektedir. Boru hattı güzergâh seçimi işlemi için bütün faktörlerin bütüncül yaklaşımla irdelendiği bir karar destek sistemine gereksinim vardır. Bu bağlamda alternatifler arasından en uygun olanının seçilmesi sürecinde aşağıdaki işlem adımları takip edilmiştir:

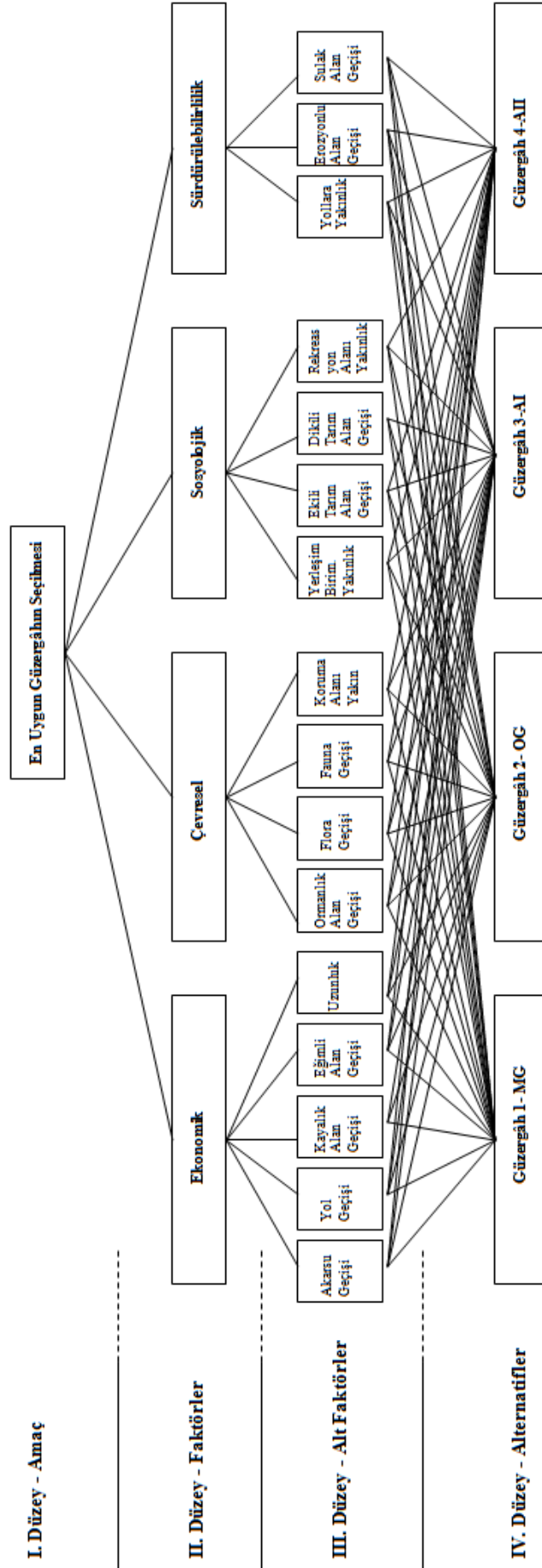
- Alternatif güzergâhların tanımlanması,
- Her bir güzergâh için bir veritabanı hazırlanması,
- Boru hattı güzergâh seçimine etki edecek temel faktörlerin ve alt faktörlerin tanımlanması,
- Hat üzerindeki risk yapısının formülize edilmesi,
- Seçilen güzergâhta faktörlerin ve alt faktörlerin öneminin belirlenmesi için ikili karşılaştırma yönteminin uygulanması,
- Bir güzergâhın diğer güzergâh üzerindeki faydalarını belirlemek için her bir alt faktöre uygun alternatiflerin ikili karşılaştırma yöntemine tabi tutulması,
- Optimum güzergâhın belirlenmesi için hiyerarşi üzerinden sonuçların sentez edilmesi.

3.3.1. Hiyerarşik yapı

İlk aşamada, modelin amacını, irdelenecek faktörleri, bu faktörlerin alt kriterlerini ve değerlendirilecek seçenekleri ve bunlar arasındaki ilişkiyi gösteren hiyerarşik yapı oluşturulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Alternatif güzergâhlar



Şekil 3.6. Alternatif güzergâhların AHY ile değerlendirilmesini gösteren hiyerarşik yapı

3.3.2. Güzergâh Bilgileri ve Faktör Ağırlıkları

Alternatif boru hattı güzergâhları içinde en uygun olanının hangisi olduğuna karar verebilmek için öncelikli olarak temel faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmaların bazılarında faktör belirlemesi işlemi anket çalışmalarına dayandırılmışsa da, büyük bir çoğunluğunda uzman kişiler tarafından beyin fırtınası yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Bu bağlamda bu çalışmada belirlenen alternatif güzergâhların hangisinin daha etkin olduğuna karar verebilmek için kullanılacak değerlendirme kriterlerine; BOTAŞ genel müdürlüğünde, BTC koordinatörlüğünde ve Şah Denizi projesinde çalışan uzman mühendisler, Trabzon DGİH’de çalışan tecrübeli kişiler ve Rize DGİH’yi yapan müteahhit firmada yapılan görüşmeler (24 kişi) doğrultusunda ve hazırlanan ayrıntılı faktörler listesi üzerinde seçim yapılarak karar verilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Alternatif güzergahlar arasından en uygun olanın belirlenebilmesi için gerekli faktör ve ağırlıkları

	EU	ÇH	SD	S	Ağırlıklar
EU	1	1	3	9	0,4358
ÇH	1	1	5	3	0,3701
SD	1/3	1/5	1	1/2	0,0858
S	1/9	1/3	2	1	0,1082

TO: 0.0376 < 0.10

EU:Ekonomik Uygunluk, ÇH:Çevresel Hassasiyet, SD:Sosyolojik Duyarlılık
S:Sürdürülebilirlik

Ayrıca boru hatları güzergâh belirleme işlemi ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda belirlenen faktörler, alt kriterler ve ağırlık değerleri de dikkate alınmıştır. Alt faktör ağırlıklarının belirlenebilmesi için gerekli olan bilgiler Tablo 3.2.’de ve bu bilgiler ışığında belirlenen ağırlıklarda Tablo 3.3.’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Faktör ve alt faktörlere ait konumsal veriler

Faktörler	Alt Faktörler	MG	OG	AI	AII
Ekonomik	Akarsu Geçişi	9	6	8	5
	Yol Geçişi	13	11	14	12
	Kayalık Alan Geçişi	9,81 km.	2,62 km.	10,04 km.	7,12 km.
	Eğimli Alanlardan Geçiş	3,52 km.	3,12 km.	2,90 km.	4,67 km.
	Uzunluk	46,12 km.	44,74 km.	44,03 km.	48,36 km.
Çevresel	Ormanlık Alan Geçişi	11,20 km.	10,09 km.	12,14 km.	9,56 km.
	Flora Geçişi	-	-	-	-
	Fauna Geçişi	-	-	-	-
	Koruma Alanlarına Yakınlık	0,91 km.	0,82 km.	1,3 km.	0,65 km.
Sosyolojik	Yerleşim Birimlerine Yakınlık	0,47 km.	0,87 m.	1,6 km.	0,32 km.
	Ekili Tarım Alanları Geçişi	4,72 km.	4,01 km.	2,67 km.	6,34 km.
	Dikili Tarım Alanları Geçişi	7,70 km.	7,90 km.	3,45 km.	10,05 km.
	Rekreasyon Alanlarına Yakınlık	0,64 km.	1,43 km.	1,80 m.	0,57 km.
Sürdürülebilirlik	Yollara Yakınlık	0,30 km.	0,61 km.	0,6 km.	0,74 km.
	Erozyonlu Alan Geçişi	3	0	1	4
	Sulak Alan Geçişi	1	0	2	3

Tablo 3.3. Alt kriterlere ait ağırlıklar

Faktörler	Ağırlıklar	Alt Faktörler	Alt Faktör Ağırlıkları
Ekonomik	0.436	Akarsu Geçişi	0,374
		Yol Geçişi	0,319
		Kayalık Alan Geçişi	0,180
		Eğimli Alanlardan Geçiş	0,085
		Uzunluk	0,042
Çevresel	0.370	Ormanlık Alan Geçişi	0,122
		Flora Geçişi	0,263
		Fauna Geçişi	0,558
		Koruma Alanı Geçişi	0,057
Sosyolojik	0.086	Yerleşim Birimlerine Yakınlık	0,583
		Ekili Tarım Alanları Geçişi	0,069
		Dikili Tarım Alanları Geçişi	0,089
		Rekreasyon Alanlarına Yakınlık	0,259
Sürdürülebilirlik	0.108	Yollara Yakınlık	0,074
		Erozyonlu Alan Geçişi	0,643
		Sulak Alan Geçişi	0,283

3.3.3. Güzergâhların Değerlendirilmesi

Yapılan değerlendirmede raster tabanlı güzergâh planlama modeli ile belirlenen OG sıralamada en yüksek değeri almış (Tablo 3.4), böylece modelin doğru sonuç verdiği gösterilmiştir. Uzunluk olarak mevcut güzergâhtan ve I. alternatif güzergâhtan daha kısadır, II. alternatif güzergâhtan ise uzundur. Çevresel, sosyolojik, ekonomik ve sürdürülebilirlik anlamında en uygun güzergâh OG olmuştur. Ayrıca bu çalışmada, ülke boyutunda gerçekleştirilecek bir DĞİH'nın fizibilite analizi için, AHY kullanılmasının

uygun olacağı da gösterilmiştir. Boru hatları gibi oldukça sermaye gerektiren projelerin güzergâh seçiminde mevcut uygulamalar sadece en kısa güzergâhları belirlemek üzerine dayandırılmaktadır. Fakat bütüncül anlamda bir analiz yapılarak belirlenecek daha uzun güzergâhlar, kısa güzergâhlardan daha fazla fayda sunabilmektedir.

Tablo 3.4. Güzergâhların toplam ağırlık değerleri

Faktör	Alt Faktörler		Alternatif Güzergâhlar				Zorluk Derecesi	Ağırlıklar
Ekonomik 0,436	Akarsu Geçişi 0,374	MG OG AI AII	MG	OG	AI	AII		
			1	1/5	1/2	1/7	0,062	0,01011
			5	1	3	1/2	0,295	0,048104
			2	1/3	1	1/6	0,104	0,016959
	Yol Geçişi 0,319	MG OG AI AII	7	2	6	1	0,539	0,087891
			1	1/5	3	1/3	0,122	0,016968
			5	1	7	3	0,558	0,077609
			1/3	1/7	1	1/5	0,057	0,007928
	Kayalık Alan Geçişi 0,180	MG OG AI AII	3	1/3	5	1	0,263	0,036579
			1	1/7	1	1/3	0,082	0,011405
			7	1	7	3	0,607	0,084424
			1	1/7	1	1/3	0,082	0,006435
	Eğimli Alanlardan Geçiş 0,085	MG OG AI AII	3	1/3	3	1	0,230	0,01805
			1	1	1/3	5	0,208	0,007708
			1	1	1/3	6	0,221	0,00819
			3	3	1	7	0,520	0,019271
	Uzunluk 0,042	MG OG AI AII	1/5	1/6	1/7	1	0,051	0,00189
			1	3	1	5	0,389	0,007123
			1/3	1	1/3	3	0,153	0,002802
			1	3	1	5	0,389	0,007123
			1/5	1/3	1/5	1	0,069	0,001264
Çevresel 0,370	Ormanlık Alan Geçişi 0,122	MG OG AI AII	1	1/3	3	1/4	0,133	0,006004
			3	1	5	1/2	0,305	0,013768
			1/3	1/5	1	1/7	0,059	0,002663
			4	2	7	1	0,503	0,022705
	Flora Geçişi 0,263	MG OG AI AII	0	0	0	0	0,0	0
			0	0	0	0	0,0	0
			0	0	0	0	0,0	0
			0	0	0	0	0,0	0
	Fauna Geçişi 0,558	MG OG AI AII	0	0	0	0	0,0	0
			0	0	0	0	0,0	0
			0	0	0	0	0,0	0
			0	0	0	0	0,0	0
	Koruma Alanı 0,057	MG OG AI AII	1	3	1/3	5	0,263	0,005547
			1/3	1	1/5	3	0,122	0,002573
			3	5	1	7	0,558	0,011768
			1/5	1/3	1/7	1	0,057	0,001202

Tablo 3.4'ün devamı

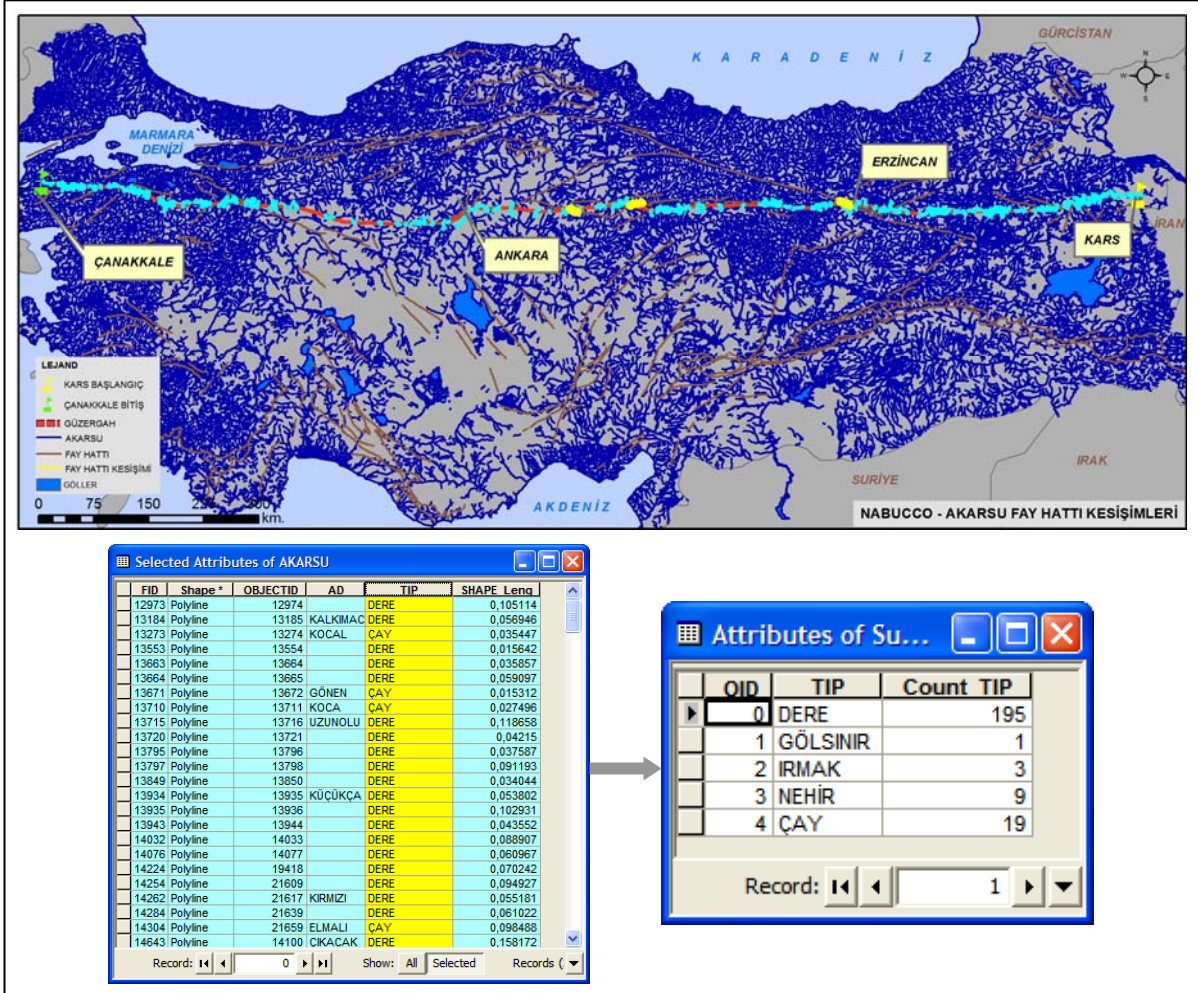
Sosyolojik	Yerleşim Birimlerine Yakınlık		MG	OG	AI	AII		
0,086	0,583	MG	1	1/3	1/5	2	0,108	0,005415
		OG	3	1	1/3	5	0,267	0,013387
		AI	5	3	1	7	0,563	0,028228
		AII	1/2	1/5	1/7	1	0,062	0,003109
	Ekili Tarım Alanları Geçiş		MG	OG	AI	AII		
	0,069	MG	1	1/2	1/5	3	0,136	0,000807
		OG	2	1	1/3	4	0,229	0,001359
		AI	5	3	1	7	0,574	0,003406
		AII	1/3	1/4	1/7	1	0,061	0,000362
	Dikili Tarım Alanları Geçiş		MG	OG	AI	AII		
	0,089	MG	1	1	1/3	3	0,201	0,001538
		OG	1	1	1/3	3	0,201	0,001538
		AI	3	3	1	5	0,519	0,003972
		AII	1/3	1/3	1/5	1	0,079	0,000605
	Rekreasyon Alanlarına Yakınlık		MG	OG	AI	AII		
	0,259	MG	1	3	6	1/2	0,316	0,007039
		OG	1/3	1	3	1/4	0,131	0,002918
		AI	1/6	1/3	1	1/7	0,055	0,001225
		AII	2	4	7	1	0,498	0,011092
Sürdürüle-	Yollara Yakınlık		MG	OG	AI	AII		
bilirlik	0,074	MG	1	1/5	1/3	1/7	0,059	0,000472
0,108		OG	5	1	2	1/2	0,280	0,002238
		AI	3	1/2	1	1/4	0,148	0,001183
		AII	7	2	4	1	0,513	0,004100
	Erozyonlu Alan Geçiş		MG	OG	AI	AII		
	0,643	MG	1	1/5	1/3	2	0,106	0,007361
		OG	5	1	3	7	0,557	0,03868
		AI	3	1/3	1	6	0,278	0,019305
		AII	1/2	1/7	1/6	1	0,059	0,004097
	Sulak Alan Geçiş		MG	OG	AI	AII		
	0,283	MG	1	1/3	3	5	0,263	0,008038
		OG	3	1	5	7	0,558	0,017055
		AI	1/3	1/5	1	3	0,122	0,003729
		AII	1/5	1/7	1/3	1	0,057	0,001742
Toplam Değerler								
Mevcut Güzergâh (MG)		0,095535						
Optimum Güzergâh (OG)		0,314644						
Alternatif I (AI)		0,133196						
Alternatif II (AII)		0,194689						

3.4. NABUCCO DGİH Güzergâhının İrdelenmesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen güzergâh belirleme modelinin etkinliğinin gösterilmesi için NABUCCO DGİH güzergâhına yönelik bazı analizler ve sorgulamalar gerçekleştirilmiştir.

NABUCCO – Akarsu ve Fay Hattı Geçişleri: Geliştirilen model üzerinden belirlenen NABUCCO DGİH güzergâhı toplam 226 adet akarsu geçişi yapmaktadır. Bunlardan 195

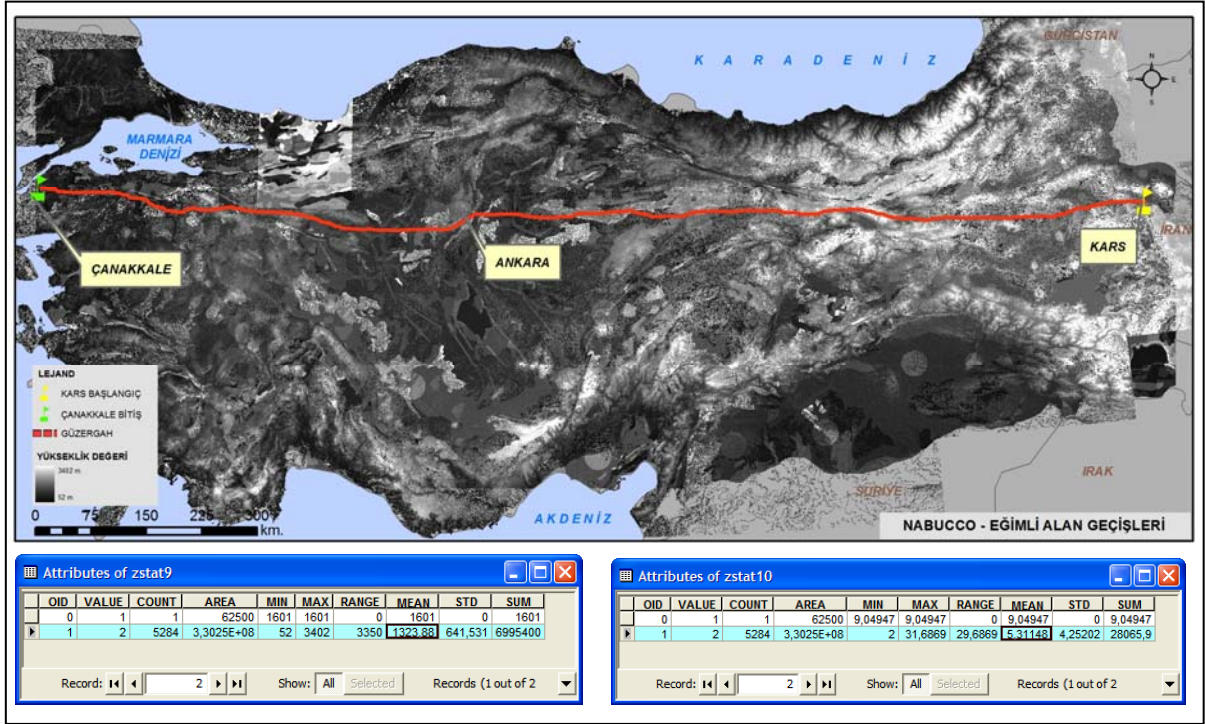
adedi dere, 3 adedi ırmak, 9 adedi nehir ve 19 adedi çay'dır. Bunun yanı sıra NABUCCO DĞİH, Kuzey Anadolu Fay Hattını Erzincan İl sınırı içinde kesmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. NABUCCO DĞİH'nin akarsu ve fay hattı geçişleri

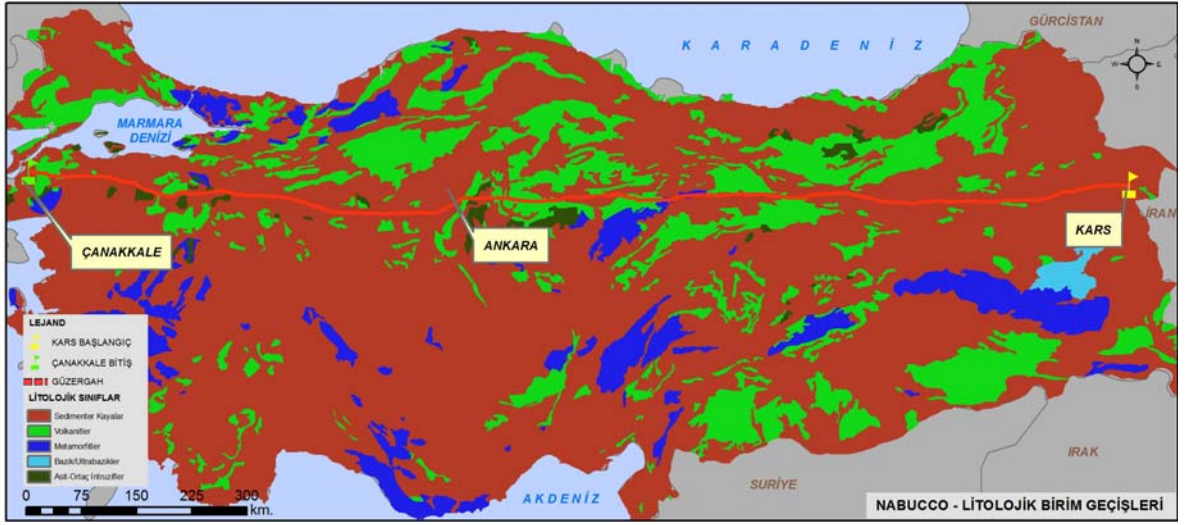
NABUCCO – Yüksek Eğimli Alan Geçişleri: NABUCCO DĞİH güzergâhının en düşük eğim değeri % 2, en yüksek eğim değeri % 32 ve ortalama eğimi değeri % 5 olarak belirlenmiştir. Boru hattının geçtiği en düşük yükseklik seviyesi 52 m iken, bazı durumlarda yükseklik değeri 3402 m'ye kadar çıkmaktadır. Boru hattının ortalama yükseklik değeri ise 1324 m'dir (Şekil 3.8).

Boru hattının yüksek eğim değeri olarak ifade edilebilecek % 25 eğim değerinden fazla olan alanlardan geçişi toplam 108 piksel yani yaklaşık 27 km'dir. Bunun yanı sıra çalışma koşulları açısından sorunlu olan 2500 m kotundan yüksek alanlardan geçiş uzunluğu ise 580 piksel yani 145 km'dir.



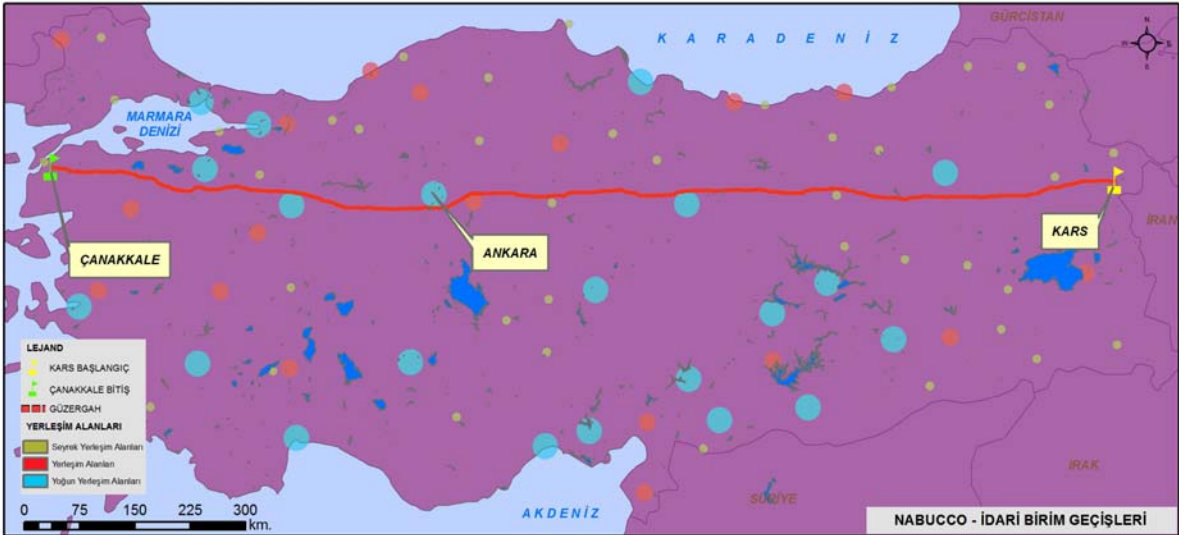
Şekil 3.8. NABUCCO DGİH'nin eğimli alan geçişleri

NABUCCO – Litolojik Birim Geçişleri: NABUCCO DGİH litolojik birim geçişleri, litoloji haritasının ölçeğine bağlı olarak, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre güzergâh asit-ortaç intruzif olarak tanımlanan sert kayaç türlerinden toplam 350 piksel yani yaklaşık 87,5 km geçiş yapmaktadır. Metamorfik olarak isimlendirilen sert kayaç türlerinden ise toplam 620 piksel yani yaklaşık 155 km geçiş yapmaktadır. Bunlara karşın yumuşak kayaç türleri olarak bilinen sedimenter kayalardan ise toplam 3636 piksel yani yaklaşık 909 km geçiş yapmaktadır (Şekil 3.9). Bu sonuçlar model üzerinden bulunan NABUCCO DGİH güzergâhının jeolojik olarak maliyet artırıcı alanlardan geçmediğini göstermektedir.



Şekil 3.9. NABUCCO DGİH'nin litolojik birimlerden geçişi

NABUCCO – Yerleşim Alanları Geçişleri: NABUCCO DGİH için önerilen güzergâhın büyükşehir, il, ilçe, belde merkezi gibi yerleşimin yoğun olduğu alanların içinden geçmediği görülmektedir (Şekil 3.10). Bu sonuç, yerleşim alanları için model içinde tanımlanmış kesin engel sınırlandırmasının doğru sonuçlar verdiğini de göstermektedir.

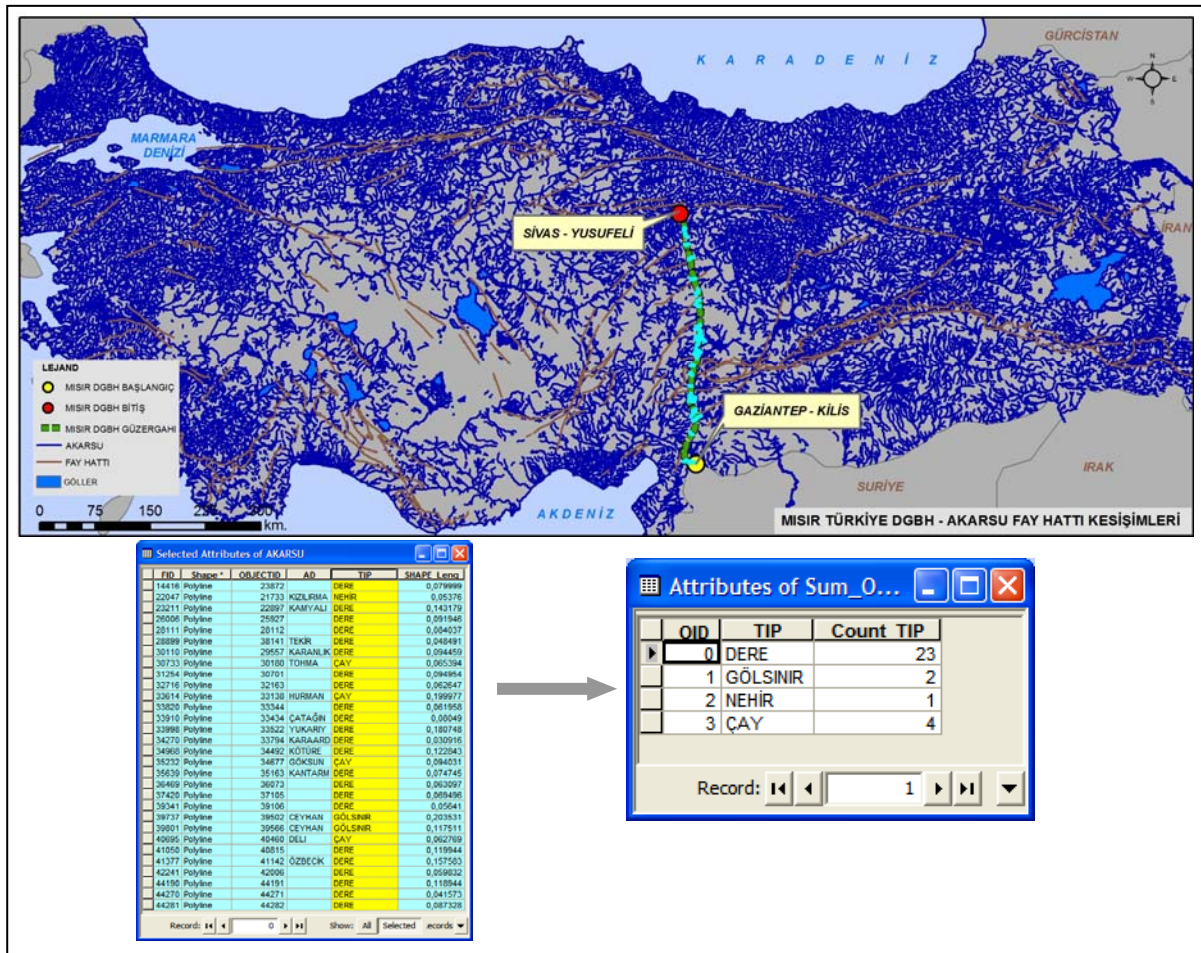


Şekil 3.10. NABUCCO DGİH'nin yerleşim alanlarından geçişi

3.5. Mısır Türkiye DĞİH Güzergâhının İrdelenmesi

Raster tabanlı güzergâh belirleme modeli üzerinden belirlenen Mısır - Türkiye DĞİH güzergâhının etkinliğinin gösterilebilmesi için diğer güzergâhlarda yapılan bazı analizler bu güzergâh için de gerçekleştirilmiştir.

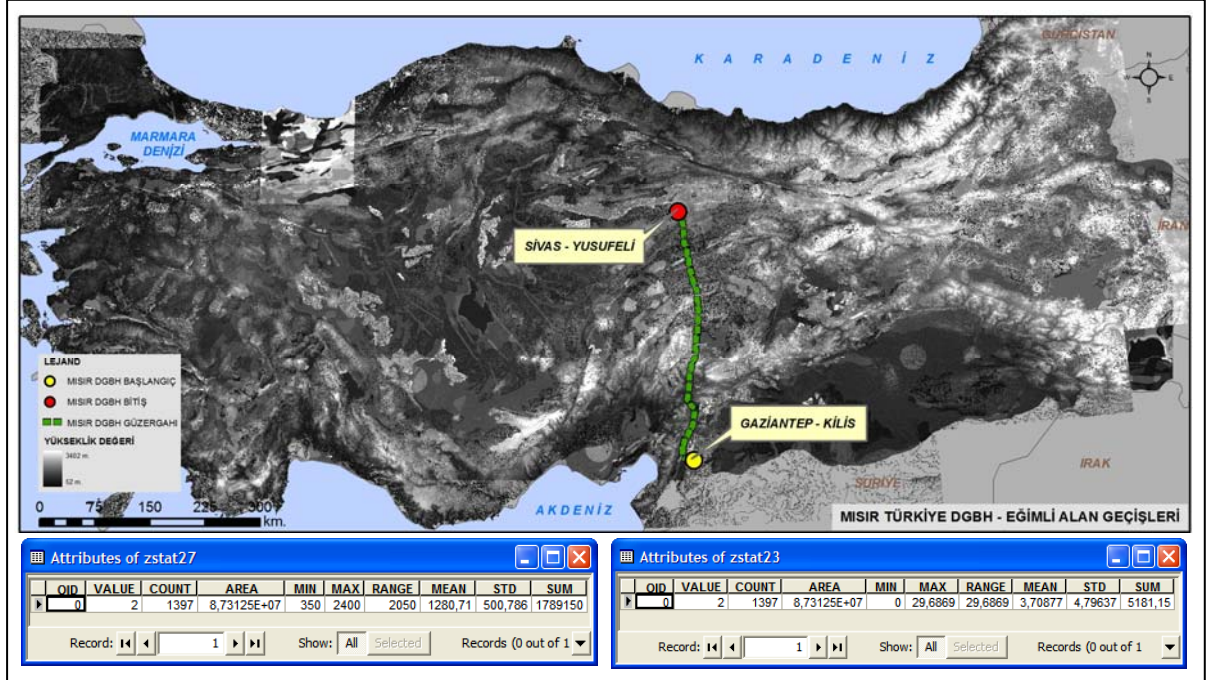
Mısır Türkiye DĞİH – Akarsu ve Fay Hattı Geçişleri: Mısır–Türkiye DĞİH, model üzerinden belirlenen optimum güzergâha göre toplam 28 adet akarsu geçişi yapmaktadır. Bunlardan 23 adedi dere, 1 adedi nehir ve 4 adedi çay’dır. Bunun yanı sıra Mısır–Türkiye DĞİH, Güney Anadolu Fay Hattını Gaziantep İli’nde kesmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Mısır Türkiye DĞİH'nin akarsu ve fay hattı geçişleri

Mısır Türkiye DĞİH – Yüksek Eğimli Alan Geçişleri: Mısır Türkiye DĞİH güzergâhının en düşük eğim değeri % 1, en yüksek eğim değeri % 30 ve ortalama eğimi değeri % 4 olarak belirlenmiştir. Boru hattının geçtiği en düşük yükseklik seviyesi 350 m.

iken, bazı durumlarda yükseklik değeri 2400 m ye kadar çıkmaktadır. Boru hattının ortalama yükseklik değeri ise 1280 m’dir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Mısır Türkiye DGBH’nin eğimli alan geçişleri

Mısır – Türkiye DGBH – Yerleşim Alanları Geçişleri: Mısır - Türkiye DGBH için önerilen güzergâh da büyükşehir, il, ilçe, belde merkezi gibi yerleşimin yoğun olduğu alanların içinden geçmemektedir (Şekil 3.13.)



Şekil 3.13. Mısır Türkiye DGBH’nin yerleşim alanı geçişleri

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, genel anlamda bütün ÇMY'ler için, özel anlamda ise DĞİH için raster tabanlı dinamik bir güzergâh belirleme modelinin geliştirilmesini içermektedir. Bu modelin oluşturulmasında temelde CBS içindeki raster ağ analizi yetenekleri kullanılmıştır. ÇMY güzergâhlarının tanımlanmış bir ağ yapısı üzerinden değil, öznelilik bilgileri içermeyen tanımsız yüzeyler üzerinden daha etkin bir şekilde tespit edilebileceği bilinmektedir. Buna bağlı olarak, önerilen bu model, raster tabanlı ağ analizi yeteneklerine dayalı bir güzergâh belirleme modelidir. Bu model temelde bütün ÇMY'leri kapsamaktadır. Her bir ÇMY yapısının güzergâhına etki edecek faktörlerin belirlenmesi, faktörlere bağlı veri katmanlarının oluşturulması ve bu faktörlerin güzergâha etki derecelerini gösteren ağırlık değerlerinin tespit edilmesi durumunda, bu parametreler model içine entegre edilebilmekte ve sonuç güzergâhlar bulunabilmektedir. Fakat bu çalışmada ÇMY türlerinden biri olan ve Dünya'da ve Türkiye'de yaygın faaliyet alanı bulan doğalgaz iletim hatları için güzergâh belirleme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model mevcut bir doğalgaz iletim hattının optimizasyonu yapılarak test edilmiştir. Model Türkiye üzerinden geçmesi tasarlanan ve henüz fizibilite aşamasında olan uluslararası iki doğalgaz iletim hattı için de uygulanmıştır. Test sonuçları ve istatistiksel bulgular önerilen bu modelin doğalgaz iletim hattı güzergâhlarının ve diğer ÇMY güzergâhlarının belirlenmesinde etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir.

ÇMY güzergâhlarının belirlenmesinde piksel tabanlı uygulamaların vektör tabanlı ağ analizi uygulamalarına göre daha uygun olduğu görülmüştür. Çünkü yüzey üzerinde güzergâh bulma işlemi piksel geçişleri ile daha kolay temsil edilebilmekte ve daha optimum modellenebilmektedir. Ayrıca çalışma alanının büyüklüğüne ve kullanılan konumsal verinin ölçeğine bağlı olarak, piksel boyutunun değiştirilebilmesi güzergâh belirleme sürecini daha da kolaylaştırmaktadır.

Bütün CBS uygulamalarında olduğu gibi, güzergâh belirleme çalışmalarında da konumsal verinin önemli bileşenlerden biri olduğu görülmüştür. Bu bağlamda çalışma ölçeğine bağlı olarak en uygun veriyi hızlı, ekonomik ve en güncel hali ile elde etmek gerekmektedir. Bu süreçte mevcut olmayan verilerin uygun çözünürlükteki uydu görüntülerinden elde edilmesinin, veri toplama aşamasında yaşanan sorunları azaltacağı görülmüştür.

Geliştirilen modelde doğalgaz iletim hattı güzergâhına etki edecek faktörlerin neler olduğu ve bu faktörlerin güzergâha etki değerlerinin hangi ağırlık katsayısı ile temsil edileceği de tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonunda faktör ağırlıklarının ve alt kriter ağırlıklarının belirlenmesinde çoklu kriter karar verme yöntemlerinden biri olan AHY'nin etkin çözümler verdiği görülmüştür.

ÇMY projelerinin güzergâh tespiti sürecinde önemli gereksinimlerden biri de, kullanıcının elindeki mevcut veriye göre faktör seçimi yapabilmesi ve bu faktörlerin ağırlıklarını güzergâhtan beklenen hassasiyete göre değiştirebilmesidir. Bu bağlamda önerilen model için oluşturulan arayüzde, kullanıcı bu gereksinimlerini karşılayabilmekte ve sonuçta dinamik olarak güzergâh değişikliği yapabilmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında izlenen sıra aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Çalışmanın giriş bölümünde literatür değerlendirmesi, problemin tanımı, çalışmanın amacı ve bazı temel tanım ve kavramlara yer verilmiştir. Türkiye ve Dünya'da doğalgaz boru hattı projelerinin güzergâh belirleme süreçleri ve bu süreçlerde ortaya çıkan sorunlar giriş bölümünde irdelenmiştir. Ayrıca CBS içinde raster tabanlı ağ analizi yeteneklerinin, ÇMY güzergâh belirlemesi sürecinde sağlayacağı avantajlar da bu bölümde açıklanmıştır. ÇMY güzergâhına etki eden faktörlerin ağırlıklarını belirlemede kullanılan yöntemler de giriş bölümünde irdelenmiştir.

Yapılan çalışmalar bölümünde ise, ilk olarak raster tabanlı ağ analizi yöntemi için kullanılan algoritmalar irdelenmiş ve CBS yetenekleri açısından birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Arkasından oluşturulması planlanan güzergâh belirleme modeli için ilgili kurum ve kuruluşlara bağlı olarak ihtiyaç analizleri yapılmıştır. Bu ihtiyaçlar ve gereksinimler ışığında kavramsal model oluşturulmuş ve veritabanı tasarımı yapılmıştır. Bu aşamada doğalgaz iletim hattı güzergâhına etki eden faktörler tespit edilmiş, AHY kullanılarak faktör ve alt kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Doğalgaz boru hatları için piksel boyutuna bağlı olarak yüzey geçiş dirençlerinin belirlendiği maliyet katmanının oluşturulması için işlem adımları açıklanmıştır. Bu aşamadan sonra önerilen dinamik model içindeki gereksinimler ve kullanıcı ihtiyaçları göz önünde bulundurularak bir arayüz geliştirilmiştir. Seçilen uygulama bölgesinde model ve arayüz test edilmiş ve mevcut bir doğalgaz boru hattı güzergâhı ile model üzerinden bulunan en uygun güzergâh karşılaştırılarak modelin etkinliği ve performansı değerlendirilmiştir. Bu sürecin sonunda Türkiye ölçeğinde ve uluslararası öneme sahip iki büyük DĞİH için arayüz üzerinden güzergâh belirlenmiştir.

Bulgular bölümünde ise, model performansının değerlendirilmesine yönelik sorgulama ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada uygulama bölgesi olarak seçilen alanda mevcut boru hattı, model üzerinden bulunan en uygun güzergâh ve alternatif olarak belirlenen diğer iki güzergâh olmak üzere toplam dört güzergâh AHY yöntemine göre karşılaştırılmış ve model üzerinden bulunan güzergâhın en uygun güzergâh olduğu görülmüştür. Mevcut doğalgaz boru hattı güzergâhı ile en uygun güzergâh arasında bir maliyet karşılaştırması da yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca bu bölümde öneri olarak sunulan güzergâhlar hakkında bazı istatistiksel bilgiler de verilmiştir.

Tez çalışması bünyesinde yapılan araştırma, inceleme ve güzergah optimizasyonu çalışmalarının sonucunda aşağıda belirtilen temel sonuçlara ulaşılmıştır:

- ÇMY güzergâh tespiti, projelerin uzunluğuna da bağlı olarak, çok büyük veri kitlelerinin ve çok sayıdaki parametrelerin bir bütün içinde analiz edilmesini gerektiren karmaşık bir süreçtir. Bu sürecin etkin bir şekilde yönetilmesinde CBS etkili araçlardan biridir.

- ÇMY'lerin güzergâh tespitinde, yüzey özelliklerinin gösterdiği direncin belirlenmesi ve uygun şekilde modellenebilmesi için raster tabanlı veri modelleri ve raster tabanlı ağ analizi yetenekleri uygulanmalıdır.

- Güzergâh tespiti yapılacak olan ÇMY için temel işlem adımlarından biri de, güzergâha etki edecek faktörlerin belirlenmesidir. Yapılan bu çalışmada doğalgaz iletim hattı güzergâhına etki eden faktörler belirlenmiş ve bu faktörlere bağlı olarak ilgili veri katmanları oluşturulmuştur.

- ÇMY güzergâhına etki edecek faktörlerin hepsi güzergâhı eşit derecede etkilemez. Dolayısıyla faktör ağırlıkları ve alt kriter ağırlıklarının uygun yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ağırlık değerlerinin belirlenebilmesi için çoklu kriter karar verme yöntemlerinden biri olan AHY yönetimin kullanılmasının uygun olacağı ortaya konmuş ve DGİH için faktör ve alt kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

- Ağ analizi uygulamalarında kullanılan algoritmaların çeşitliliği, bu algoritmaların raster tabanlı veri modellerine uygulanma sınırlandırmaları ve CBS ile uyumları dikkate alındığında günümüzde doğalgaz iletim hatları için, dünyada halen en yaygın kullanım alanına sahip, Dijkstra algoritmasının kullanılabilirliği gösterilmiştir.

- Doğalgaz iletim hatları ve diğer ÇMY'ler uzunluk olarak genelde büyük alanları kapsamaktadır. Bu alanlara ait verilerin uygun ölçekte ve yeterli kalitede elde edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda inşaat faaliyetlerinin yürütüleceği koridor genişliğine göre

uygun piksel boyutunun belirlenmesi gerekmektedir. Doğalgaz iletim hattı güzergâhlarının belirlenmesinde, 1/25.000 ölçekli verilerin kullanılması durumunda, piksel boyutunun 30 m olarak seçilmesi uygun olacaktır. Bunun yanında daha küçük ölçekli verilerde piksel boyutu artırılmalı ve bu şekliyle belirlenecek güzergâh bir koridor şeklinde tanımlanmalıdır. Bu koridor bir sonraki aşamada daha detaylı veriler ile inşaat koridoru genişliğine kadar indirgenmelidir.

- ÇMY yapılarının güzergâhlarının belirlenmesinde raster analiz ve sorgulama yeteneklerine sahip yazılım ve donanım gibi bileşenlerin mevcut olması gerekmektedir. Bu amaçla yazılım olarak temelde Dijkstra algoritmasına bağlı “cost distance” algoritması kullanan ArcGIS yazılımı ve donanım olarak da raster verilerden kaynaklanacak kapasite sorunlarını ortadan kaldıracak Toshiba Intel ® Core™ 2 Tablet PC kullanılmıştır. Oluşturulan bu modelde ilgili verilerin, sorgulama / analiz araçlarının ve çıktı bileşenlerinin yöneticilerin kullanabilecekleri kolaylıkla kendilerine sunulabilmesi ve güzergâh belirleme sürecindeki ara işlemleri tüm fonksiyonları ile anında kullanabilmeleri için dinamik bir arayüz geliştirilmiştir. Bu arayüz kullanıcıya faktör seçimi imkânı vermekte ve seçtiği faktörlerin ağırlıklarını dinamik olarak değiştirmesine olanak sağlamaktadır.

- Bir ÇMY’nin güzergâh tespiti çalışmasında bütün yüzey üzerindeki detaylı verilerin elde edilmesi oldukça zordur. Bu durumda küçük ölçekli veriler üzerinden yaklaşık koridorlar tespit edilmeli ve bu koridorlar içinde kalan veriler detaylandırılmalıdır. Böylece olası “koşma zamanı hatası” (run time error) ortadan kaldırılacak ve buna bağlı olarak da geliştirilen arayüz daha performanslı çalışacaktır.

- Geliştirilen bu modelden elde edilecek sonuçların doğruluğu, kullanılan verilerin kalitesi ile doğru orantılıdır. Özellikle Türkiye’de konumsal veriler bağlamında yaşanan sorunların önüne geçilebilmesi için uygun çözünürlükteki uydu görüntülerin kullanılması yaygınlaştırılmalıdır.

- Türkiye’de DGİH güzergâhı tespiti için, mevcut verilere ve veri kalitesine bağlı olarak 250*250 m piksel boyutunda bir maliyet yüzeyi haritası oluşturulmuştur. Bu harita üzerinden herhangi bir DGİH projesi için, başlangıç, bitiş ve durak noktalarının tanımlanması halinde, 250 m genişliğinde en uygun koridor belirlenebilecektir.

- Türkiye’de ÇMY yapılarının inşaatında, kamulaştırma maliyetlerinden kaçınmak için mümkün olduğunca hazine ve kamu arazileri kullanılmaktadır. Kullanıcının bu tür arazilerden geçiş faktörünü değerlendirmeye alması durumunda ilgili veri katmanının

oluşturulması gerekmektedir. İlgili arsa ve arazileri gösteren veri katmanı oluşturulduğunda bu durum oluşturulan model içine ayrı bir faktör olarak entegre edilebilecektir.

5. KAYNAKLAR

- Ahmad, N., Determining Optimal Path Using GIS, www.gisdevelopment.net, 15.04.2006.
- Akkuş, S., Çağla, H., Başçiftçi, F. ve Ayten, T., 2007. Petrol and Natural Distribution Lines in Turkey and Cartography Studies, FIG Working Week 2007, Hong Kong SAR, China.
- Akpınar, E., 2005. Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) Ham Petrol Boru Hattı ve Türkiye Jeopolitiğine Etkileri, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 25, 2, 229-248.
- Anavberokhai I., O., 2008. Introducing GIS and Multi-Criteria analysis in road pah planning process in Nigeria, MsC Thesis, University of Gavle, Department of Technology and Built Environment.
- Anonim, 2002. Tarım Arazileri Standartları Değerlendirme Kriterleri ve Tanımlar, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2003. Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Sayı:25318, Ankara.
- Anonim, 2008. Turkey, China open talks on new Silk Road Project, BBC Monitoring European, London.
- Anonim, 2008. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Boru Hattı Ulaştırması Alt Komisyon Raporu.
- Ashish, V. ve Dhingra, S., L., 2005. Integrated Framework Using Geographical Information System, Journal of Urban Planning and Development, 131, 2, 98-111.
- Atkinson, M., D., Deadman, P., Dudycha, D. ve Traynor, S., 2005. Multi-Criteria evaluation and least cost path analysis for an arctic all-weather road, Applied Geography, 25, 287-307
- Baban, S., M., J., Yusof, K., W., Foster, L., D., I. ve Ramlal, B., 2004. Modeling the Optimum Routes for Linking Potential Reservoir Sites to Demand Areas in Mountainous Tropical Islands, Surveying and Land Information Science, 64, 3, 183-189.
- Başkent, E., Z., 1997. Türkiye Ormancılığı için Nasıl Bir Coğrafi Bilgi Sistemi(CBS) Kurulmalıdır? Ön Çalışma ve Kavramsal Yaklaşım, Journal of Agriculture and Forestry, 21, 493-505.
- Başkent, E. Z., 2004. Yöneylem Araştırması Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları, Birinci Baskı, KTÜ Matbaası, Trabzon, 487 s.

- Berry, K., J., Optimal Path Analysis and Corridor Routing: Infusing Stakeholder Perspective in Calibration and Weighting of Model Criteria, www.innovativegis.com, 13.11.2000.
- Berry, K., J., King, D., M. ve Lopez, C., A Web-Based Application for Identifying and Evaluating Alternative Pipeline Routes and corridors, www.innovativegis.com/basis/present/gita, 14 Kasım 2004.
- Bolstad, P., 2005. GIS Fundamentals, Eider Press, Minnesota, USA, 620 s.
- Burrough, P., A., 1998. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press, 2.ed., USA, 193 s.
- Chaudhri, J., 2006. Medgaz IM Approach predicts cost savings, Oil & Gas Journal, 104, 32, 57-58
- Cheng, M., Y. ve Chang, G., L., 2001. Automating Utility Route Design and Planning Through GIS, Automation in Construction, 10, 4, 507-516.
- Cluff S., L., Page, A., R., Slemmons, B., D. ve Crouse, B., C., 2003. Seismic Hazard Exposure for the Trans-Alaska Pipeline, 6th U.S. Conference and Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, California, USA.
- Collischonn, W. ve Pilar, V., J., 2000. A Direction Dependent Least-Cost Path Algorithm for Roads and Canal, International Journal of Geographical Information Science, 14, 4, 397-406.
- Crossland, M., D., Wynne, B., E. ve Perkins, W., C., 1995. Spatial Decision Support Systems: An Overview of Technology and a Test Efficacy, Decision Support Systems, 14, 3, 219-235.
- Çam, H., 2003. Hazar (Orta Asya) Petrollerinin Dünya Pazarlarına Açılımının Stratejisi ve Analitik Hiyerarşi Proses Esaslı Alternatif Güzergah Değerlendirme Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetin, T. ve Oğuz, F., 2007. The Reform in the Turkish Natural Gas Market: A Critical Evaluation, Energy Policy, 35, 3856-3867.
- Çevik, E. ve Topal T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, 44, 949-962.
- Çiçek, Y., 2005. Boru hatları ve Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Bülteni, 59, 39-43.
- Dantas, A., 2001. Integrating GIS and AHP for Bus Route Definition, Proceedings of the Symposium on ASIA GIS, Tokyo, Japan.

- Dangermond, J., 1989. Fundamentals of Geographical Information Systems, ASPRS and ACSM, USA, 222 s.
- Darvishsefat, A., A. ve Makhdom, M., Environmental Consideration In Railway Route Selection With GIS - Case Study: Rasht-Anzali Railway In Iran, www.gisdevelopment.net/application/environment/overview/ma04305, 12 Ocak 2004.
- Delevar, R. M. ve Naghibi, F. 2003. Pipeline Routing Using Geospatial Information System Analysis, <http://www.scangis.org/scangis2003/papers/12.pdf>, 28 Ağustos 2003.
- Deniz, V., Boru Hatları Yapımında Teknik Esaslar ve Tedarikte Güvenlik, <http://www.konrad.org.tr/Enerji/12DENIZ.pdf>, 14 Aralık 2007.
- Dey, P. K., 2001. Integrated approach to Project feasibility analysis, Impact Assesement and Project Appraisal, 19, 3, 235-245.
- Dey, P. K., 2002. An integrated assessment model for cross-country pipelines, Environmental Impact Assessment Review, 22, 703-721.
- Dey, P. K., 2003. Analytic Hierarchy Process Analyzes Risk of Operating Cross-Country Petroleum in India, Natural Hazards Review, 4,4, 213-221..
- Dey, P., K., 2006. Integrated Project Evaluation And Selection Using Multiple-Attribute Decision-Making Technique, International Journal of Production Economics, 103, 1, 90-103.
- Dey, P., K. ve Gupta, S., S., 2001. Feasibility Analysis of Cross-Country Petroleum Pipeline Projects: A Quantiative Approach, Project Management Institute, Project Management Journal, 32, 4, 50-58.
- Dey, K., P., Gupta, S., S. ve Ho, W., 2006. Managing Technology in Oil Pipelines Industry International Journal of Services Technology and Management, 7, 2, 185 – 210.
- Dey, P., K. ve Ramcharan, E., K., 2007. Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbados, Journal of Environmental Management, 88,4, 1384-1395.
- Dijkstra, E., W., 1959. A Note on Two Problems in Connection With Graphs, Numerische Mathematic, 1, 269–271.
- Donati, L. ve Turrini, M., C., 2002. An Objective Method to Rank the Importance of the Factors Predisposing to Landslides with the GIS Methodology: Application to An Area of the Apennines, Engineering Geology, 63, 277–289.
- Dostyk, J., P., Beijing backs plan for silk railroad link to Europe, <http://www.skyscrapercity.com/archive/index.php/t-291172.html>, 06 Aralık 2005.

- Douglas, D., H., 1994. Least-Cost Path in GIS Using an Accumulated Cost Surface and Slope Lines, Cartographica, 31, 37-51.
- D.P.T., 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), Ankara.
- D.P.T., 2007. Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013), Ankara.
- Eastman, J., R., 1989. Pushbroom Algorithms for Calculating Distances in Raster Grids, Autocarto, 9, 288-297.
- Eleren, A., 2007. Markaların Tüketici Tercih Kriterlerine Göre Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Beyaz Esya Sektöründe Bir Uygulama, Celal Bayar Üniversitesi, İİBF, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 14, 2, 47-64.
- ESRI, 2004. ArcGIS Desktop Developer Guide, California, USA, 16 s.
- Feldman, S., C., Pelletier, R., E., Walser, E. ve Smoot, J., C., 1995. A Prototype For Pipeline Routing Using Remotely-Sensed Data and Geographic Information System Analysis, Remote Sensing of Environment, 53, 2, 123-131.
- Gewin, V., 2004. Mapping opportunities, Nature International Weekly Journal of Science, 427, 376-377.
- Gipps, G., P., Kevin, Q., G., Held, A. ve Barnett, G., 2001. New Technologies for Transport Route Selection, Transportation Research Part C, 9, 135-154.
- Gutierrez, Z., G., Cabrales, A., J., Lechuga, C. ve Rubio, O., A., 2002. Environmental Quantitative Assessment of Two Alternative Routes for a Gas Pipeline in Campeche, Mexico, Landscape and Urban Planning, 59, 181-186.
- Gutierrez, Z., G. ve Rubio, O., A., 2004. Quantitative Assessment for Selecting the Route for a Gas Pipeline in Yucatan, Mexico, Human and Ecological Risk Assessment, 10, 2 451-460.
- Güler, M., Yomralioglu, T., Reis, S., 2007. Using Landsat Data to Determine Land use/Land Cover Changes in Samsun, Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 127, 1, 155-167.
- Hakbilir, M., 2004. Implementing the Dijkstra's Algorithm with Priority Queue to the Path Finding Problem in Raster GIS, Ms Thesis, Geodesy & Geographic Information Technologies, METU, Ankara.
- Hall, S., Nelson A., Meehan, D. ve Mukherjee, J., 2005. Disseminating Critical Pipeline Infrastructure Data With GIS, Esri User Conference, USA.
- Hausamann, D., Zirrig, W., Schreier, G. ve Strobl, P., 2005. Monitoring of Gas Pipelines – A Civil UAV Application, Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, 77, 5, 352-360.

- Heatwole, C., D. ve Kilgore, J., L., 1997. Effective Friction Surfaces for Flow Routing in a Raster GIS Watershed Model, Proceedings of the 1997 ASAE Annual International Meeting, USA.
- Heyne, J., N., 2001. Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production, 2nd. Edition, PenWell Corporation, USA, 652 s.
- Huang, B., Cheu, L. R. ve Liew, S. Y., 2004. GIS and Genetic Algorithms for HAZMAT Route Planning With Security Considerations, International Journal of Geographic Information Science, 18, 8, 769-787.
- Husdal, J., Fastest path problems in dynamic transportation networks, [http://husdal.com/2000/06/25/fastest-path-problems-in-dynamic-transportation networks](http://husdal.com/2000/06/25/fastest-path-problems-in-dynamic-transportation-networks), 14 Mayıs 2000.
- Husdal, J., 2001. Corridor Analysis-A Timeline of Evolutionary Development, MSc Thesis,. University of Utah, USA.
- Glasgow, F., J., 2004. Siting Lienar Facilities with Geographic Information Systems, Geospatial Information &Technology Association (GITA) 27th Annual Conference, USA.
- Inbar, E., 2001. Regional Implications of the Israeli-Turkish Strategic Partnership, Middle East Review of International Affairs, 5, 2, 21-43.
- Iqbal, M. ve Satar, F., 2006. Planning a Least Cost Gas Pipeline Route A GIS&SDSS Integration Approach, First International Conference on Advances in Space Technologies, Islamabad, Pakistan.
- Jo, D., Y. ve Ahn, J., B., 2005. A Method of Quantitative Risk Assessment for Transmission Pipeline Carrying Natural Gas, Journal of Hazardous Materials, 123, 1-3, 1-12.
- Jones, R. ve Barron, M., Site Selection of Petroleum Pipelines: A GIS Approach to Minimize Environmental Impact and Liabilities, <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap350/p350.htm>, 25 Aralık 2000.
- Karaş, İ., R., 2007. 3B CBS’de Ağ Analizlerine Yönelik Coğrafi Veritabanının Otomatik Üretilmesi, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon, 323-329.
- Kesgin, B. ve Ersoy, E., 2006. Peyzaj Planlamada Coğrafi Bilgi Sistemi Aracı Olarak Konumsal Karar Destekleme Sisteminin Uygulanması, IV. Coğrafi Bilgi Sistemleri Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- Keshkamat, S., S., Looijen, J., M. ve Zuidgeest, M., H., P., 2009. The Formulation and Evaluation of Transport Route Planning Alternatives: A Spatial Decision Support System for the Via Baltica Project, Poland, Journal of Transport Geography, 17, 1, 54-64.

- Kohn, R., E., 2003. Israel's Need to Import Freshwater, Water, Air, and Soil Pollution, 143, 257-270.
- Ko, K., C., Chowdhury, R. ve Flentje, P., 2005. Hazard and Risk Assessment of Rainfall – Induced Landsliding Along a Railway Line, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 38, 2, 197-213.
- Lee, J. ve Stucky, D., 1998. On Applying Viewshed Analysis for Determining Least-Cost Paths on Dijital Elevation Models, International Journal Geographical Information Science, 12, 8, 891-905.
- Levesque, M., L. ve Dube, G., M., 2007. Review of the effects of in-stream pipeline crossing construction on aquatic ecosystems and examination of Canadian methodologies for impact assessment, Environmental Monitoring and Assessment, 132, 1-3, 395-409
- Longley, A., P., Goodchild, F., M., Maguire, J., D. ve Rhind, W., D., 2001. Geographic Information Systems and Science, John Wiley & Sons, Ltd. England, 540 s.
- Luettinger, J. ve Clark, T., 2005. Geographic information system-based pipeline route selection process, Journal of Water Resources Planning and Managment, 131,3, 193-200.
- Mackenzie, A., S. ve Walker, M., A., Perimeter Highway Route Determination Using GIS In Hamilton, Ontario, http://www.uoguelph.ca/geography/research/geog4480_w2004/index, 30 Haziran 2004.
- Malczewski, J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, Canada, 408 s.
- Malpica, J., A. ve Pedraza, J., 2004. Roads Extraction Through Texture From Aerial And High-Resolution Satellite Images, The International Society for Optical Engineering, 4170, 358-366.
- Mator, A., N. ve Lee, H., Y., 2008. Suitability Analysis of Subsea Pipeline Route Using GIS, 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGS-2008), Proceedings Book, Fatih University, İstanbul, 3-10.
- Mavrakakis, D., Thomaidis, F. ve Ntroukas I., 2006. An Assessment of the Natural Gas Supply Potential of the South Energy Corridor From the Caspian Region to the EU, Energy Policy Journal 34, 13, 1671–1680.
- McIlhagga, D., 1997. Optimal Path Delineation to Multiple Targets Incorporating Fixed Cost Distance, Honours Thesis for Bachelor of Arts, Carleton University, Canada.
- Miesner, O., T. ve Lefler, L. W., 2006. Oil & Gas Pipelines In Nontechnical Language, PennWell Corporation, Oklahoma, USA, 357 s.

- Mohitpour, M., Golshan, H. ve Murray, A., 2007. Pipeline Design Construction A Practical Approach, Third Edition, USA, 656 s.
- Montemurro, D. ve Gale, T., 1998. GIS-Based Process Helps Transcanada Select Best Route For Expansion Line, Oil & Gas Journal, 96, 25, 63-68.
- M.T.A., 2002. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “Türkiye Jeoloji Haritası”, Ankara.
- Nataraj, S., 2005. Analytic Hierarchy Process as a Decision-Support System in the Petroleum Pipeline Industry, Issues in Information Systems, 6, 2, 17-21.
- Nişancı, R., 2005. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Piksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Nonis, N., C., 2007. Varghese, K. ve Suresh, S., K., Investigation of an AHP Based Multi Criteria Weighting Scheme for GIS Routing of Cross Country Pipeline Projects, 24th International Symposium on Automation & Robotics in Construction, India.
- Oğurlu, M., 2007. Arşiv Bilgilerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Arayüzlerle Sunumu, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon, 717-721.
- Orhan, A., H. ve Yılmaz, İ., 2006. Alignment Selection Criteria for Pipelines Essential, Pipeline & Gas Journal, 233, 5, 43-44
- Oktay, Z., 2009. Investigation of Coal-Fired Power Plants in Turkey and a Case Study: Can Plant, Applied Thermal Engineering, 29, 2, 550-557.
- Osakuni, U., M. ve Abam, S., K., T., 2004. Shallow Resistivity Measurement for Cathodic Protection of Pipelines in the Niger Delta, Environmental Geology, 45, 6, 747 – 752.
- Pharris, C., T. ve Kolpa, L., R., 2007. Overview of the Design, Construction, and Operation of Interstate Liquid Petroleum Pipelines, Environmental Science Division, Argonne National Laboratory, Chicago, USA.
- Price, V., C., Nakagaki, N., Hitt, J., K. ve Clawges, M., R., 2007. Enhanced Historical Land-Use and Land-Cover Data Sets of the U.S. Geological Survey, U.S. Geological Survey Data Series 240.
- Qingwen, A., M., Chenghua, W. ve Jiming, K., 2006. Dynamical Mechanisms of Effects of Landslides on Long Distance Oil and Gas Pipelines, Whuan University Journal of Natural Sciences, 11, 4, 820-824.
- Qiu, J., Bian, X. ve Li, X., 2004. Intelligent Design of Power Transmission Lines on 3D GIS, Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), China, 5125-5128.

- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Altlık Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Rosado, R. I. J., Fernandez, J. L. A., Garcia, G., E., ve Zorzano, S., P., 2005. Advanced Model for Expansion of Natural Gas Distribution Networks Based on Geographic Information Systems, Proceedings of the Fifth IASTED International Conference Power and Energy Systems, Spain.
- Rowland, A., 2005. GIS route selection analysis for Oil and Gas exploration using Multi-Criteria Decision Analysis- Case Study of the Oil and Gas Producing area of the Niger Delta in Nigeria, MSc Thesis, University of Greenwich, London.
- Ryan, K., P., 2001. A Versatile Route Selection Process, Pipeline 2001: Advances in Pipelines Engineering & Construction, Conference Proceeding Paper.
- Rylsky, I., A., 2004. Optimization of Pipeline Routes Using GIS-Technologies, Vestnik Moskovskogo Universiteta, Geografiya, 5, 4, 34-40.
- Saaty, T., L., 1989. Hierarchical-Multiobjective Systems, Control-Theory and Advanced Technology, 5, 4, 485-489.
- Saha, A., K., Arora, M., K., Gupta, R., P., Viridi, M., L. ve Csaplovics, E., 2005. GIS-Based Route Planning in Landslide-Prone Areas, International Journal of Geographical Information Science, 19, 10, 1149-1175.
- Schleifer, Y., Pipeline Politics Give Turkey an Edge, Correspondent of The Christian Science Monitor, <http://www.csmonitor.com/2005/0525/p06s01-woeu.html>, 20 Ocak 2005.
- Seyhanlı, Ö., P., 2005. Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı projesi Çevresel Etki Değerlendirme Çalışmalarında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Smith, M., J., 2006. Determination of Gradient and Curvature Constrained Optimal Paths, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 21, 24-38.
- Solka, J., L., Perry, J., C., Poellinger, B., R. ve Rogers, G., W., 1995. Fast Computation of Optimal Paths Using a Parallel Dijkstra Algorithm With Embedded Constraints., Neurocomputing, 8, 195-212.
- Sommer, S. ve Wade, T., 2006. A to Z GIS, An illustrated dictionary of geographic information systems, Esri Press, California, 245 s.
- Şener, B., 2004. Landfill Site Selection By Using Geographic Information Systems, MSc Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.

- Tangri, R., Jena, S. ve Roy, S., Earthquake Disaster Management Using GIS and Probabilistic Risk Assessment, www.gisdevelopment.net, 14.09.2008.
- Thomaidis, F. ve Mavrakakis, D., 2006. OptimumRoute of the SouthTranscontinental Gas Pipeline in SE Europe using AHP, Journal of Multi-Criteria Analysis, 14, 77-88.
- Tomlin, C.D., 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modelling, Prentice Hall, New Jersey, 386 s.
- Tomlinson, R., 2003. Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers, ESRI Press, USA, 254 s.
- Triantaphyllou, E., 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A comparative Study, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 324 s.
- Tümay, A., 2001. Güvenli Karayolu Ulaşımı İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Karayolu Güzergah Tespit Metodu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, Energy Information Administration Country Analysis Briefs/Turkey <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/Turkey/pdf.pdf>, 15 Aralık 2006.
- URL-2, Botaş Genel Müdürlüğü, Doğal Gaz ve Petrol Boru Hatları Haritası www.botas.gov.tr, 13 Kasım 2008.
- URL-3, Problem Description <http://ai-depot.com/BotNavigation/Path.html>, 10.09.2007.
- URL-4, Optimizasyon nedir? <http://en.wikipedia.org/wiki/Optimisation>, 08.03.2008.
- URL-5, What is optimization? <http://www-fp.mcs.anl.gov/OTC/Guide/OptWeb/opt>, 08.03.2008.
- URL-6, Analitik Hiyerarşi Süreci, <http://www.isl.itu.edu.tr/ya/AHS.doc>, 12.09.2008.
- URL-7, Energy Transmission Project Phases and Activities, <http://teeic.anl.gov/images/photos/TAP-Bridge.jpg>, 14.03.2009.
- URL-8, Interior Alaska Subarea Contingency Plan, Sensitive Areas, http://www.dec.state.ak.us/SPAR/perp/plans/scp_int/int_D-SensAreas.pdf, 11.03.2009
- URL-9, Gas Pipeline Blowout Photos, http://www.energyindustryphotos.com/pipeline_blowout_photos_and_natu.htm, 04.09.2009.
- URL-10, Dağ Horozu Koruma Projesi, http://www.haber53.com/haber_detay.php?haber_id=10388, 10.04.2008

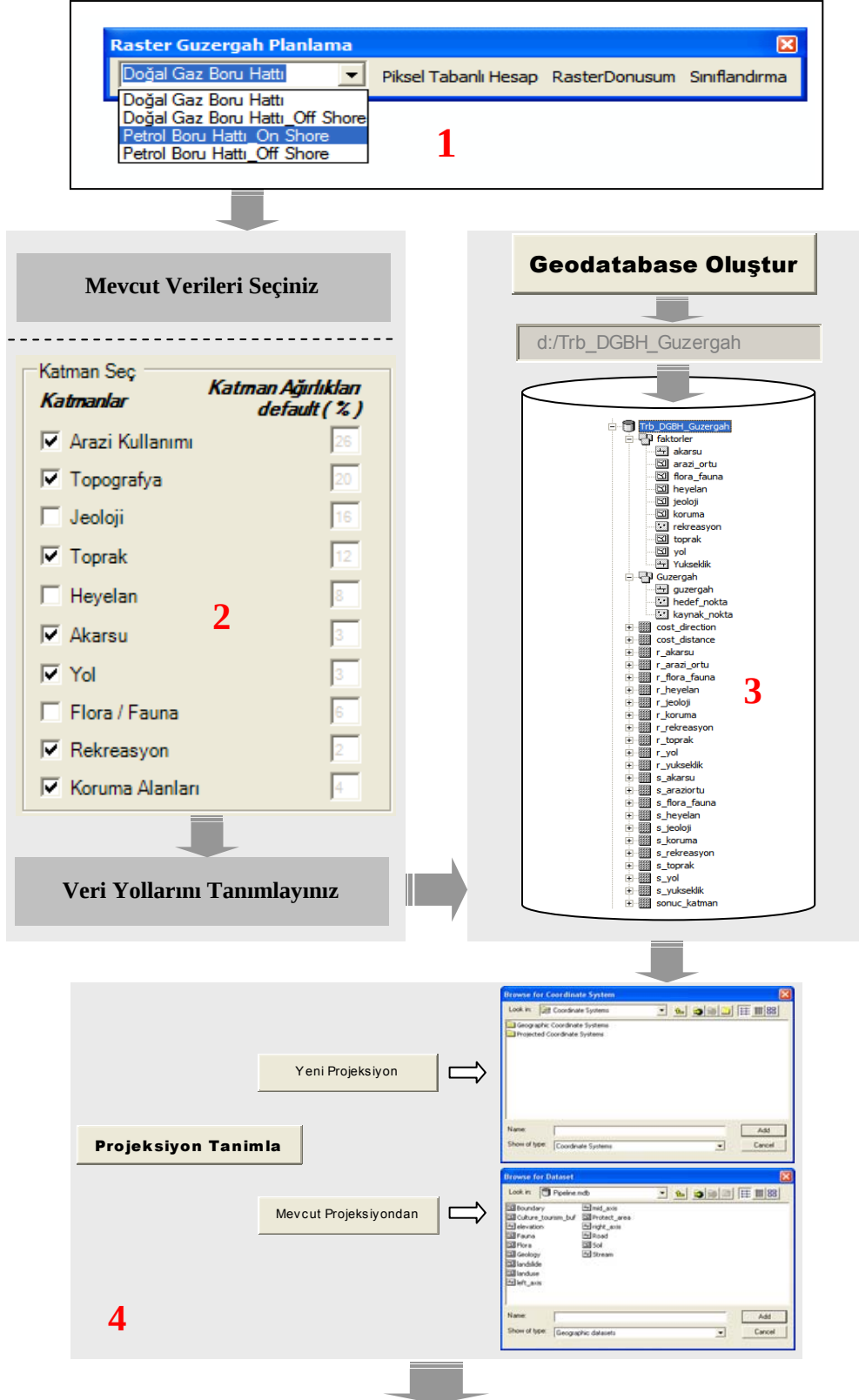
- URL-11, 2 milyar \$'lık proje yumurtasını bekledi, <http://hurarsiv.hurriyet.com.tr/goster/haber.aspx?id=4659937&tarih=2006-06-28,06.28.2006>.
- URL-12, Stream and /or highway Crossing, http://www.montva.com/departments/psa/standards/section_03/05_stream_hwy_crossings, 02.13.2009
- URL-13, Grid-based Map Analysis Techniques and GIS Modeling Mini-Workshop, <http://www.innovativegis.com/basis/Courses/Carleton/MiniWorkshop/MiniWorkshopPart2.ppt>, 12.11.2008.
- URL-14, C# Programlama Dili, http://www.ceviz.net/c-programlama-dili-net-framework-ve-programlama-dilleri-tarihinde-onemli-adimlar_a218.html, 10.02.2009.
- URL-15, Türkiye istatistik kurumu, adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (adnks) veri tabanı, http://report.tuik.gov.tr/reports/rwservlet?adnksdb2=&report=idari_yapi_2008.RDF&p_il1=61&p_yil=2008&desformat=html&ENVID=adnksdb2Env, 30.05.2009
- Valdes, A., A Pilot Application of ECDA to Liquid CO2 Pipeline, <http://content.nace.org/Store/Downloads/05168.pdf>, 03.03.2005.
- Vincent, C., T. ve Yong, H., 2002. Assessment of Airborne Lidar and Imaging Technology for Pipeline and Safety Applications, Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS Conference Proceedings, Canada.
- Wagner, D., F., 1997. Cellular Automata and Geographic Information Systems, Environment and Planning B: Planning and Design, 24, 219-234.
- Walker, R., Craighead L., 2002. Analyzing Wildlife Movement Corridors in Montana Using GIS, ESRI User Conference, California, USA.
- Warner, L., L. ve Diab, R., D., 2002. Use of Geographic Information Systems in an Environmental Impact Assessment of an Overhead Power Line, Impact Assessment and Project Appraisal, 20, 1, 39-47.
- WORLD BANK, 2003. Cross-Border Oil and Gas Pipelines: Problems and Prospects, Scotland.
- Xu, J. ve Lathrop, R., G., 1994. Improving Cost-Path Tracing In A Raster Data Format., Computers & Geosciences, 20, 10, 1455-1465.
- Xu, J. ve Lathrop, R., G., 1995. Improving Simulation of Spread Phenomena in Raster-Based Geographic Information System., International Journal of Geographic Information Systems, 9, 154-168.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İrdelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Yayla, N., 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 285 s.
- Yesilnacar, E. ve Topal, T., 2005. Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison of Logistic Regression and Neural Networks Methods in a Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey), Engineering Geology, 79, 3, 251-266.
- Yıldırım, F., 2004. Dilim Esasına Dayalı UTM Sistemi için Alternatif Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yıldırım, V., 2007. Raster Tabanlı Ağ Analizi Uygulamaları ve Türkiye İçin Bir Durum Değerlendirmesi, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon, 625-633.
- Yildirim, V., Nisanci, R., Yomralioglu, T. ve Uzun, B., 2008. Raster-based GIS data guide economic pipeline construction, Oil & Gas Journal, 106, 13, 62-68.
- Yildirim, V. ve Yomralioglu T. 2007. GIS Based Pipeline Route Selection by ArcGIS, ESRI Users Group Conference, USA.
- Yıldız, D. ve E., Çağlayan, Non-Technical Summary, Environmental Impact Assessment, Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı, www.caspiandevelopmentandexport.com, 28 Mart 2002.
- Yomralioğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul, 479 s.
- Yomralioğlu, T., Reis, S., Nişancı, R., 2002. GPS ile Hareket Halindeki Araçlardan Elde Edilen Gerçek Zamanlı Verilerin Orta Ölçekli CBS Çalışmalarında Kullanılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, 107-115.
- Young, S., Balluz, L. ve Malilay, J., 2004. Natural and Technologic Hazardous Material Releases During and After Natural Disasters: A Review, Science of The Total Environment, 332, 1, 3-20.
- Yusof, K. W. ve Baban, S., Least-Cost Pipelines Path to the Langkawi Island, Malaysia Using a Geographical Information System (GIS), www.gisdevelopment.net/application/utility/others/mi04053.htm, 29 Eylül 2004.
- Yu, C., Lee, J. ve Stasiuk, M., J., M., 2003. Extensions to Least-Cost Path Algorithms for Roadway Planning, International Journal of Geographic Information Science, 17, 4, 361-376,.
- Yüksel, İ., 2008. Hydropower in Turkey for a Clean and Sustainable Energy Future, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 1622-1640.
- Zhang, X., 2003. Using Genetic Algorithms to Generate Alternatives for Multi-Objective Corridor Location Problems, Proceedings of the 8th International Conference, University of Michigan, USA.

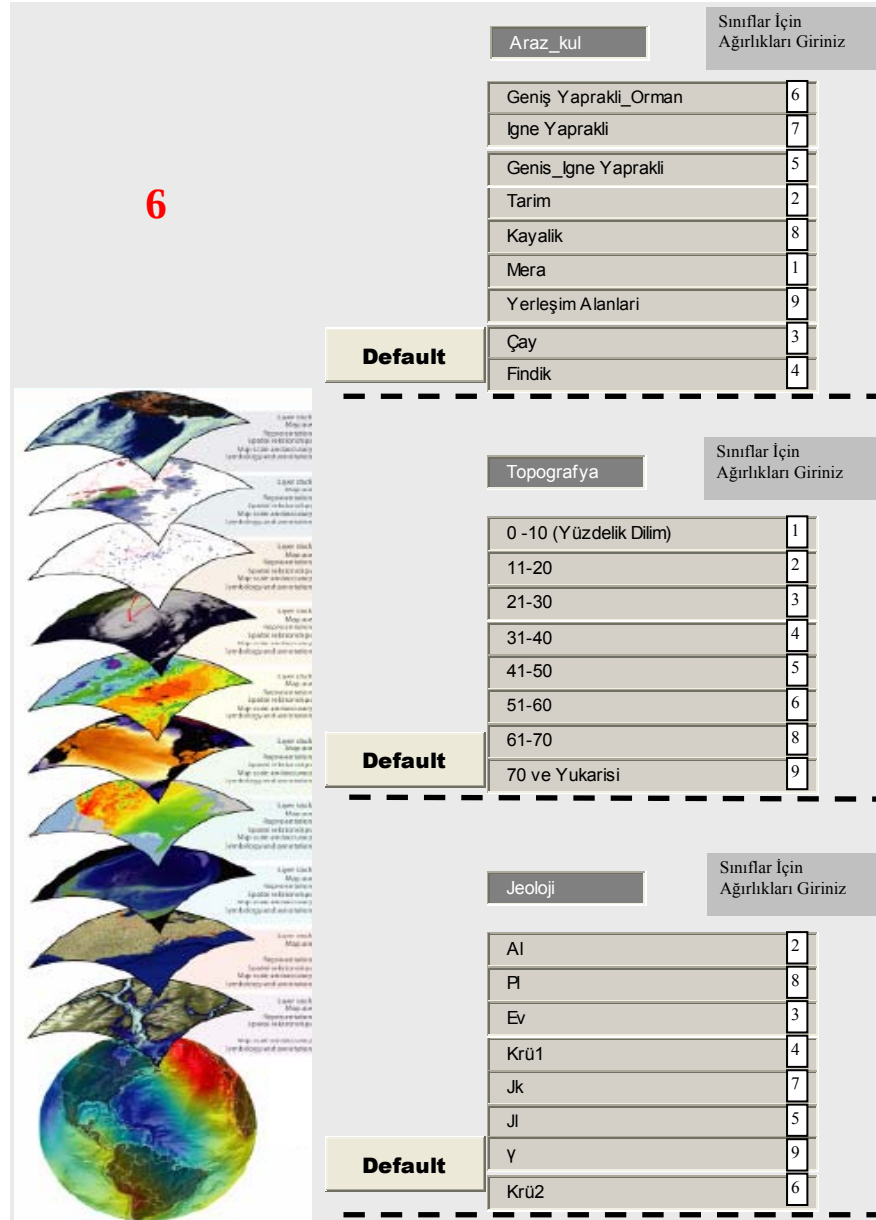
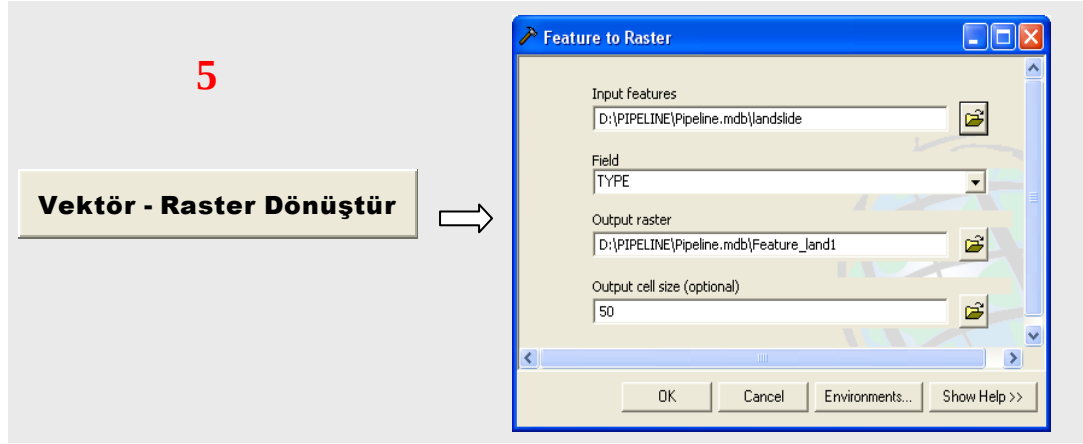
Zhenyi, L., 2006. Corrosion and Its Effects on Remaining Strength and Lifetime of Underground Oil Pipeline, Proceedings of the 2006 International Symposium on Safety Science and Technology, Hu'nan, China.

6. EKLER

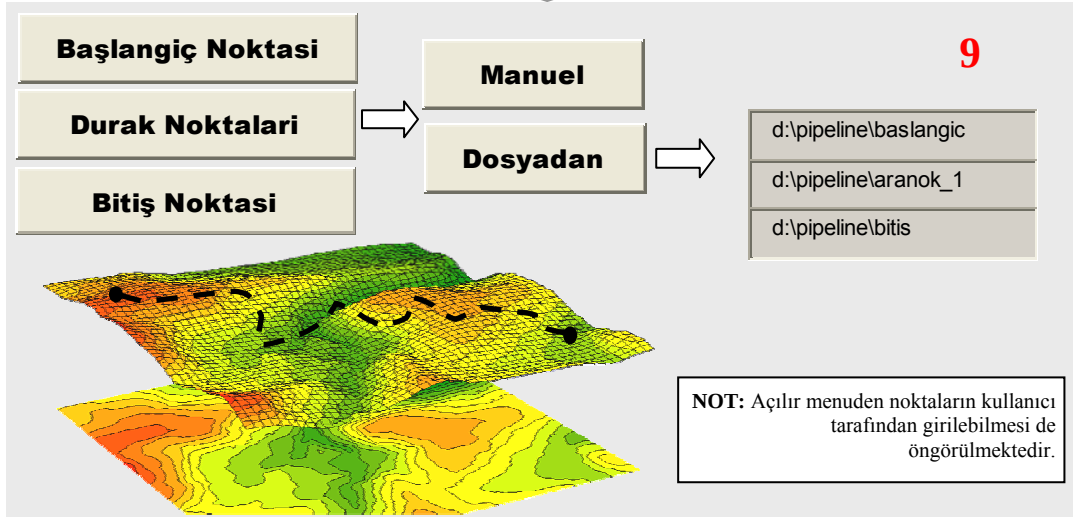
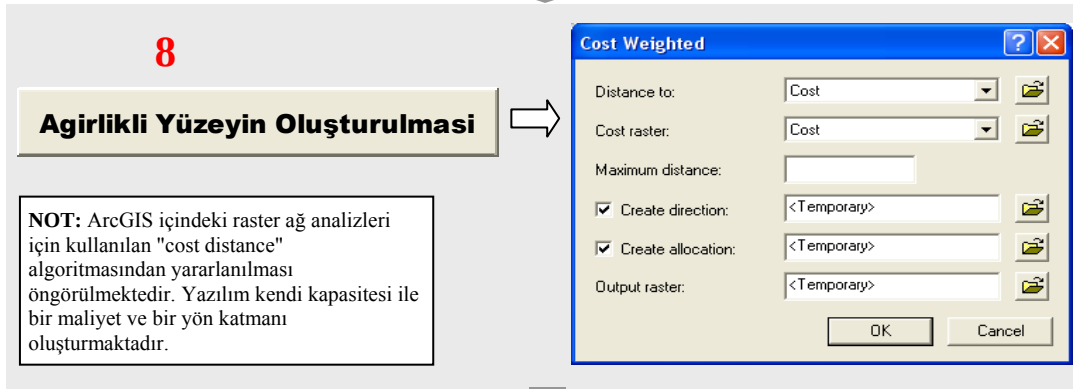
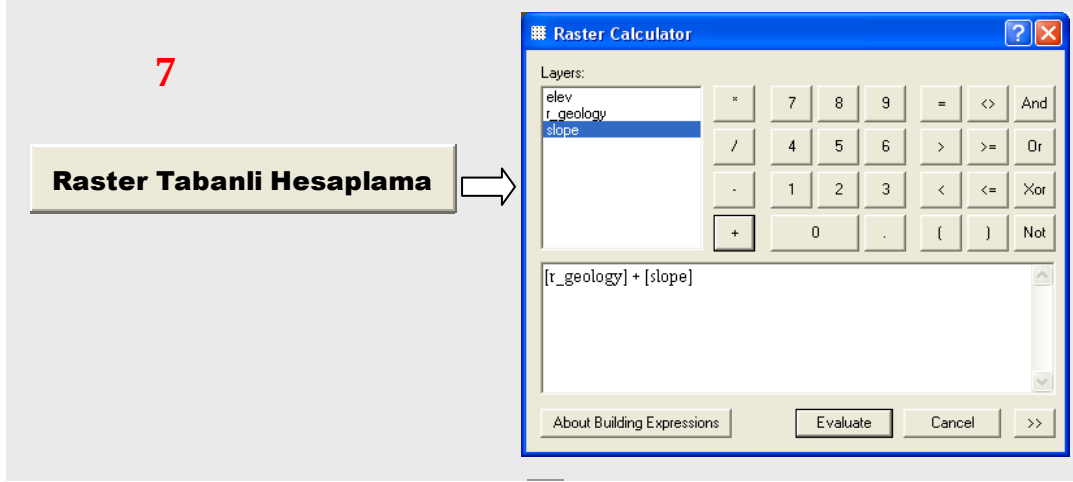
Ek Şekil 1. Arayüz tasarımında izlenen işlem sırası



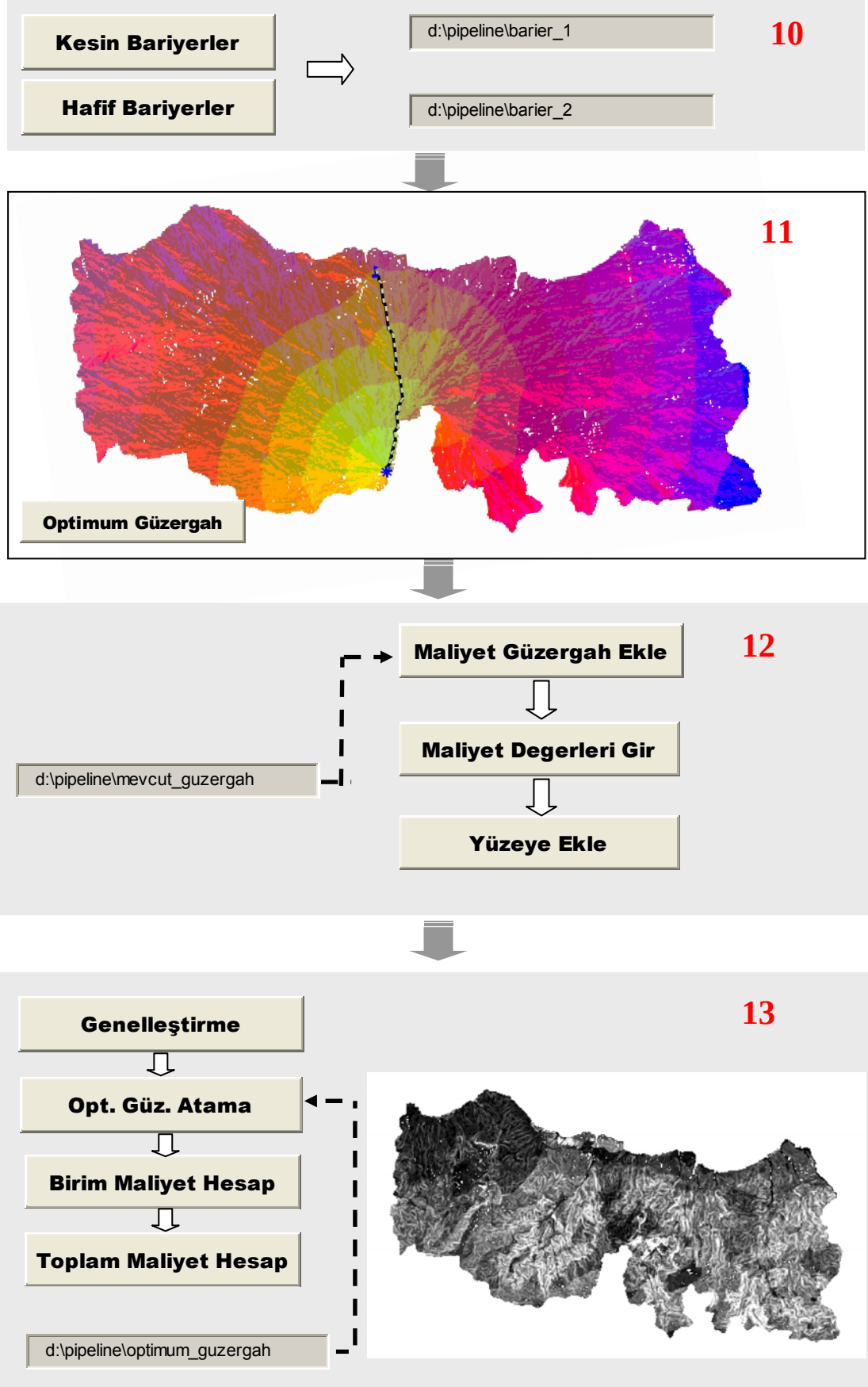
Ek Şekil 1'in devamı. Arayüz tasarımı izlenen işlem sırası



Ek Şekil 1'in devamı. Arayüz tasarımı izlenen işlem sırası



Ek Şekil 1'in devamı. Arayüz tasarımında izlenen işlem sırası



Ek Şekil 2. Arayüz üzerinde boru hattı türünün seçilmesi

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using ESRI.ArcGIS.Framework;
using ESRI.ArcGIS.Carto;
using ESRI.ArcGIS.ArcMapUI;
namespace TestToolbar
{
    public partial class CmbboxForm : Form
    {
        DogalGaz dg;
        private IApplication m_application;
        public CmbboxForm(IApplication application)
        {
            InitializeComponent();
            m_application = application;
        }
        private void comboBox1_KeyUp(object sender, KeyEventArgs e)
        {
            try
            {
                if (e.KeyCode == Keys.Enter)
                {
                    double scale;
                    if (Double.TryParse(comboBox1.Text, out scale) == true)
                    {
                        IMap map = (m_application.Document as IMxDocument).FocusMap;
                        map.MapScale = scale;
                        (map as IActiveView).Refresh();
                    }
                }
            }
            catch (Exception ex)
            {
                throw;
            }
        }
        private void comboBox1_SelectedIndexChanged_1(object sender, EventArgs e)
        {
            if (comboBox1.SelectedItem.ToString().Equals("Doğal Gaz Boru Hattı_on"))
            {
                dg = new DogalGaz(m_application);
                dg.Show();
            }
            if (comboBox1.SelectedItem.ToString().Equals("Doğal Gaz Boru Hattı_off"))
            {
                OtoyolKatmanSec dg = new OtoyolKatmanSec();
                dg.Show();
            }
        }
    }
}

```

Ek Şekil 2'nin devamı. Arayüz üzerinde boru hattı türünün seçilmesi

```

        if (comboBox1.SelectedItem.ToString().Equals("Petrol Boru Hattı_on"))
        {
            Karayolu_Katman_Sec dg = new Karayolu_Katman_Sec();
            dg.Show();
        }

        if (comboBox1.SelectedItem.ToString().Equals("Petrol Boru Hattı_off"))
        {
            Petrol_Hat_Katman_Sec dg = new Petrol_Hat_Katman_Sec();
            dg.Show();
        }
    }
    private void CmbboxForm_Load(object sender, EventArgs e)
    {
    }
}

```

Ek Şekil 3. Seçilen verilerin bir “geodatabase” içinde organize edilmesi

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
using ESRI.ArcGIS.esriSystem;
using ESRI.ArcGIS.ADF;
using ESRI.ArcGIS.Display;
using ESRI.ArcGIS.Framework;
using ESRI.ArcGIS.ArcMapUI;
using ESRI.ArcGIS.SystemUI;
using ESRI.ArcGIS.Geodatabase;
using ESRI.ArcGIS.ADF.BaseClasses;
using ESRI.ArcGIS.ADF.CATIDs;
using System.Runtime.InteropServices;
using ESRI.ArcGIS.DataSourcesGDB;
using ESRI.ArcGIS.Geometry;
using ESRI.ArcGIS.Carto;
using ESRI.ArcGIS.SpatialAnalystTools;
using ESRI.ArcGIS.ConversionTools;
using ESRI.ArcGIS.DataManagementTools;
using ESRI.ArcGIS.CartoUI;
using ESRI.ArcGIS.CatalogUI;
using ESRI.ArcGIS.DataSourcesRaster;
using ESRI.ArcGIS.Geodatabase;
using ESRI.ArcGIS.ConversionTools;
namespace TestToolbar
{
    public partial class DogalGaz : Form
    {
        SaveFileDialog saveFileDialog;
        public IApplication m_app;
        public String araziismi;
        string name, path;
        public DogalGaz(IApplication app)
        {
            InitializeComponent();
            m_app = app ;
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                // Hazır formun ekrana eklenmesi..
                saveFileDialog = new SaveFileDialog();
                saveFileDialog.Title = "Workspace Oluştur";
                saveFileDialog.RestoreDirectory = true;
                saveFileDialog.Filter = "Access Dosyaları (*.mdb)*.mdb";
                //Show save dialog..
                DialogResult dResult = saveFileDialog.ShowDialog();
                if (dResult == DialogResult.OK)
                {
                    string fullName = saveFileDialog.FileName;
                    name = System.IO.Path.GetFileNameWithoutExtension(fullName);
                    path = System.IO.Path.GetDirectoryName(fullName);

                    // Geodatabase oluştur..

```

Ek Şekil 3'ün devamı. Seçilen verilerin bir "geodatabase" içinde organize edilmesi

```

IWorkspaceFactory workspaceFactory = new AccessWorkspaceFactoryClass();
IWorkspaceName workspaceName = workspaceFactory.Create(path, name, null, 0);
IPropertySet propset = new PropertySetClass();
propset.SetProperty("DATABASE", path + "\\ " + name + ".mdb");
IWorkspaceFactory workspaceFactory1 = new AccessWorkspaceFactoryClass();
IWorkspace workspaceTarget = workspaceFactory1.Open(propset, 0);
IPropertySet propset2 = new PropertySetClass();
propset2.SetProperty("DATABASE", "d:\\veriler.mdb");
IWorkspaceFactory workspaceFactory2 = new AccessWorkspaceFactoryClass();
IWorkspace workspaceSource = workspaceFactory2.Open(propset2, 0);

//Geodatabase içine featuredataset oluştur.
IFeatureDatasetDialog ift = new FeatureDatasetDialogClass();
IWorkspaceFactory workspacefactory2 = new AccessWorkspaceFactoryClass();
MessageBox.Show(ift.ToString());
IFeatureWorkspace featureworkspace2 = workspacefactory2.OpenFromFile(fullName, 0) as
IFeatureWorkspace;

FeatureDataset fds = (FeatureDataset) ift.DoModalCreate(featureworkspace2, m_app.hWnd);
araziismi = fds.Name;

//feature layer al
IWorkspaceFactory workspacefactory = new AccessWorkspaceFactoryClass();
IFeatureWorkspace featureworkspace = workspacefactory.OpenFromFile(@"d:\\veriler.mdb", 0)
as IFeatureWorkspace;
// MessageBox.Show(workspacefactory2.ToString());
// harita al
IMxDocument document = m_app.Document as IMxDocument;
IMap map = document.FocusMap;

CopyPasteGDBData cpdb = new CopyPasteGDBData();
if (arzkl.Checked)
{
    FeatureClassToFeatureClass fff = new FeatureClassToFeatureClass();
    ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor gp = new
ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor();
    fff.in_features = @"d:\\veriler.mdb\\arazikullanim";
    fff.out_name = "arazikullanim";
    fff.out_path = path + "\\ " + name + ".mdb" + "\\ " + araziismi ;
    gp.Execute(fff, null);

    //document.SelectedLayer.Visible = false;
}
if (yuk.Checked)
{
    FeatureClassToFeatureClass fff = new FeatureClassToFeatureClass();
    ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor gp = new
ESRI.ArcGIS.Geoprocessor.Geoprocessor();
    fff.in_features = @"d:\\veriler.mdb\\yukseklilik";
    fff.out_name = "yukseklilik";
    fff.out_path = path + "\\ " + name + ".mdb" + "\\ " + araziismi;
    gp.Execute(fff, null);
}

```

Ek Şekil 4. Arayüz üzerinde güzergah planlama modülü

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace TestToolbar
{
    public partial class Form_Guzergah : Form
    {
        DogalGaz dg;
        public Form_Guzergah(DogalGaz dg)
        {
            InitializeComponent();
            this.dg = dg;
        }
        private void Form_Deneme_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            dg.tiklandi();
            this.Hide();
        }

        private void label2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog od = new OpenFileDialog();
            od.ShowDialog();
            dg.dist1(od.FileName);
        }
        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog od = new OpenFileDialog();
            od.ShowDialog();
            dg.dist2(od.FileName);
        }
        private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog od = new OpenFileDialog();
            od.ShowDialog();
            dg.dist3(od.FileName);
        }
        private void groupBox1_Enter(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}

```

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Sürmene'de, ortaöğrenimini Trabzon'da tamamladı. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ), Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği (JFM) Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, JFM anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2000 yılında bu anabilim dalına araştırma görevlisi olarak atandı. 2003 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl doktora eğitime başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.