

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAYOLU GÜZERGÂH TESPİTİNDE ÇEVRESEL KRİTERLERE DE YER
VEREN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ BİR
MODEL ÖNERİSİ

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Ferit YAKAR

HAZİRAN 2011
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARAYOLU GÜZERGÂH TESPİTİNDE ÇEVRESEL KRİTERLERE DE YER
VEREN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ BİR
MODEL ÖNERİSİ**

İnşaat Yüksek Mühendisi Ferit YAKAR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 10.06.2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Ferit YAKAR Tarafından Hazırlanan

**KARAYOLU GÜZERGÂH TESPİTİNDE ÇEVRESEL KRİTERLERE DE YER
VEREN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ BİR
MODEL ÖNERİSİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 10 / 05 / 2011 gün ve 1404 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 10 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK

Üye : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Recep NİŞANCI

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak hazırlanmıştır. “YOL GÜZERGÂHI TESPİTİNDE ÇEVRESEL VE SOSYAL ÖLÇÜTLERİ DİKKATE ALAN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI BİR YAZILIMIN GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu çalışma, “T.C. KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ” tarafından 2008.112.001.4 proje kod numarasıyla desteklenmiştir.

Gerçekleştirmiş olduğum doktora çalışmasının danışmanlığını üstlenen, bilgi ve deneyimleri ile çalışmalarımı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Fazıl ÇELİK’e teşekkür eder, saygılar sunarım.

Tez izleme komitesinde görev alarak çalışmalarına katkı sağlayan Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU’na, Yrd. Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR’a ve Yrd. Doç. Dr. Recep NİŞANCI’ya teşekkür ederim.

Çalışmamı gerçekleştirmem sırasında elinde bulunan verileri cömertçe sunan ve her ihtiyaç duyduğumda yardımını esirgemeyen Gazi Osman Paşa Üniversitesi - Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi - Jeodezi ve Fotoğrametri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Tekin SUSAM’a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Doktora öğrenimim boyunca üzerimde emeği olan, Ulaştırma Anabilim Dalındaki hocalarım başta olmak üzere tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, tez çalışmam boyunca üzüntü ve sevinçlerimi paylaşan, sürekli fedakârlık gösteren eşim Özgür GÜNDEŞ YAKAR’a, kızım Ece ve oğlum Efe’ye en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Ferit YAKAR
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Karayolu Güzergah Tespitinde Çevresel Kriterlere de Yer Veren Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Bir Model Önerisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Fazıl ÇELİK’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10 / 06 / 2011.

Ferit YAKAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	X
SUMMARY	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.1.1. Karayollarının Çevresine Etkileri	1
1.1.1.1. Toprak Kirliliği ve Erozyon	2
1.1.1.2. Su Kirliliği ve Akış Değişiklikleri	4
1.1.1.3. Hava Kalitesi	6
1.1.1.4. Flora ve Faunaya Etkiler	7
1.1.1.5. Toplumsal Yaşam ve Ekonomik Etkinlikler	8
1.1.1.6. Kamulaştırma ve Zorunlu Yer Değişiklikleri	8
1.1.1.7. Kültürel Mirasın Etkilenmesi	9
1.1.1.8. Estetik ve Peyzaj Etkileri	9
1.1.1.9. Gürültü	10
1.1.1.10. Trafik Güvenliği	11
1.1.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve Sürdürülebilir Ulaştırma Perspektifi ...	12
1.1.3. Problemin Tanıtımı	13
1.1.4. Çalışmanın Amacı	14
1.1.5. Çalışmanın Literatüre ve Uygulamaya Katkısı	15
1.1.6. Literatür çalışması	17
1.1.7. Çalışmanın Yapısı	21

1.2.	Karayolu Güzergâh Tespiti ve Önemi	22
1.2.1.	Güzergâh Tespitinde Klasik Yöntem	23
1.2.1.1.	Planlama Çalışmaları	23
1.2.1.2.	Etüt ve Proje Çalışmaları	24
1.2.1.2.1.	Yol Sınıfının Tespiti	25
1.2.1.2.2.	İstikşaf (Ön Etüt)	25
1.2.1.2.3.	Güzergâh Haritası (Etüt)	26
1.2.1.2.4.	Aplikasyon	26
1.2.1.2.5.	Plankote	27
1.2.1.2.6.	Proje	27
1.2.2.	Klasik Güzergâh Tespit Yönteminin Sakıncaları	27
1.2.3.	Güzergâh Belirleme Sürecinde Dikkate Alınması Gereken Prensipier	29
1.3.	Güzergâh Belirlemede Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı	33
1.3.1.	Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Temel Bilgiler	33
1.3.2.	CBS’de Konumsal Veri Modelleri	34
1.3.2.1.	Vektör Veri Modeli	35
1.3.2.2.	Raster Veri Modeli	36
1.3.3.	Raster Tabanlı Ağ Analizi Yöntemi	37
1.3.4.	IDRISI Yazılımının Tanıtılması	37
1.3.4.1.	IDRISI’nin Yapısı ve İşleyişi	38
1.3.4.2.	IDRISI Modelleme Araçları	39
1.4.	Karar Verme	41
1.4.1.	Ulaştırma Konularında Karar Verme	41
1.4.2.	Çok Kriterli Karar Verme	42
1.4.2.1.	Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	43
1.4.3.	Çok Kriterli Değerlendirme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri	44
1.4.3.1.	Amacın Ortaya Konması	45
1.4.3.2.	Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi	45
1.4.3.3.	Kriterlerin Ağırlıklandırılması	45
1.4.3.4.	Karar Kurallarının Uygulanması	47
1.4.3.4.1.	Boolean Yaklaşımı	47
1.4.3.4.2.	Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) Yaklaşımı	47

1.4.3.5.	Duyarlılık Analizi	48
1.4.4.	Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)	48
1.4.4.1.	Hiyerarşinin Kurulması	49
1.4.4.2.	İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması	49
1.4.4.3.	İkili Karşılaştırma Matrisleri Kullanılarak Ağırlıkların Belirlenmesi	50
1.4.4.4.	Tutarlılığın Test Edilmesi	51
1.4.5.	IDRISI’de Karar Verme	51
1.4.5.1.	Karar Destek Alt Menüsü (<i>The Decision Support Submenu</i>).....	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER ...	53
2.1.	Önerilen Model: 3 Aşamalı Karayolu Güzergâh Tespit Modeli	53
2.1.1.	Birinci Aşama: Kısıtların Uygulanması	56
2.1.2.	İkinci Aşama: Güzergâh Alternatiflerinin Oluşturulması	57
2.1.3.	Üçüncü Aşama: Güzergâh Alternatiflerinin Karşılaştırılması/Seçim Yapılması	58
2.2.	Kriter Haritalarının Hazırlanması ve Standardizasyonu	59
2.2.1.	Tek Tematik Harita ile Temsil Edilen Kriterlerin Standardizasyonu	60
2.2.1.1.	Boolean Standardizasyon	60
2.2.1.2.	Sınıflı Standardizasyon	62
2.2.1.3.	Sürekli Standardizasyon	63
2.2.1.3.1.	Doğrusal Ölçü Transformasyonu	64
2.2.1.3.2.	Bulanık Üyelik Fonksiyonları Kullanarak Standardizasyon	65
2.2.2.	Birden Fazla Tematik Haritanın Kullanılmasıyla Temsil Edilen Kriterlerin Standardizasyonu	66
2.2.3.	IDRISI’de Standardizasyon	68
2.2.3.1.	IDRISI’de Boolean ve Sınıflı Standardizasyonların Yapılması	69
2.2.3.2.	IDRISI’de Sürekli Standardizasyonların Yapılması	69
2.2.3.2.1.	Üyelik Fonksiyonları	69
2.2.3.3.	IDRISI’de Tematik Haritaların Birleştirilmesi	72
2.3.	Uygulama	73
2.3.1.	Tokat Çevre Yolu Projesi	73
2.3.2.	Uygulama Alanına Ait Haritalar ve Dönüşüm İşlemleri	75
2.3.3.	Birinci Aşama	77
2.3.3.1.	Su Kirliliği Kriteri (1A)	77
2.3.4.	İkinci Aşama	77

2.3.4.1.	Kriterlerin Belirlenmesi ve Kriter Haritalarının Oluşturulması	78
2.3.4.1.1.	Maliyet Kriteri (2A)	79
2.3.4.1.2.	Turizm Gelişimine Katkı Kriteri (2A)	91
2.3.4.1.3.	Ticaret ve Sanayi Gelişimine Katkı Kriteri (2A)	92
2.3.4.1.4.	Topoğrafya Kriteri (2A)	93
2.3.4.1.5.	Jeolojik Yapı Kriteri (2A)	94
2.3.4.1.6.	Yapı Güvenliği Kriteri (2A)	95
2.3.4.1.7.	Bakı ve İklim Koşulları Kriteri (2A)	98
2.3.4.1.8.	Konfor Kriteri (2A)	101
2.3.4.1.9.	Ulaşılabilirlik Kriteri (2A)	102
2.3.4.1.10.	Trafik Güvenliği Kriteri (2A)	103
2.3.4.1.11.	Diğer Modlarla Uyum Kriteri (2A)	103
2.3.4.1.12.	Yaya Hareketleri Kriteri (2A)	104
2.3.4.1.13.	Erozyon Kriteri (2A)	106
2.3.4.1.14.	Hava Kirliliği Kriteri (2A)	108
2.3.4.1.15.	Gürültü Kriteri (2A)	110
2.3.4.1.16.	Su Kirliliği Kriteri (2A)	112
2.3.4.1.17.	Ormanlar Kriteri (2A)	113
2.3.4.1.18.	Yaban Hayatı Kriteri (2A)	113
2.3.4.1.19.	Toprak Kirliliği Kriteri (2A)	114
2.3.4.1.20.	Yeniden Yerleşim Kriteri (2A)	115
2.3.4.1.21.	Toplum Etkinlikleri Kriteri (2A)	116
2.3.4.1.22.	Arazi Kullanımı Değişimi Kriteri (2A)	117
2.3.4.2.	Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	118
2.3.4.3.	Kriter Grubu Haritalarının Oluşturulması	123
2.3.4.4.	Ağırlıklı Maliyet Yüzeylerinin (AMY) Oluşturulması	127
2.3.4.5.	Güzergâh Alternatiflerinin Oluşturulması	138
2.3.5.	Üçüncü Aşama	142
2.3.5.1.	Kriterlerin Belirlenmesi	143
2.3.5.2.	Hiyerarşinin Oluşturulması ve Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi ...	144
2.3.5.3.	Güzergâh Alternatifleri İçin Kriter Maliyetlerinin Hesaplanması	145
2.3.5.3.1.	Döşeme Yaklaşımı	145
2.3.5.3.2.	Tamponlu Döşeme Yaklaşımı	146

2.3.5.3.3.	Diğer Modlarla Uyum Kriteri (3A)	147
2.3.5.3.4.	İyileştirme İmkânı Kriteri (3A)	147
2.3.5.3.5.	Halkın Tercihi Kriteri (3A)	147
2.3.5.3.6.	STK'ların Tercihi Kriteri (3A)	148
2.3.5.4.	Güzergâh Alternatifleri İçin Toplam Maliyetlerin Hesaplanması	151
2.3.5.5.	En Uygun Güzergâh Alternatifinin Seçilmesi	151
3.	SONUÇLAR	155
4.	ÖNERİLER	158
5.	KAYNAKLAR	159
6.	EKLER	166
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

KARAYOLU GÜZERGAH TESPİTİNDE ÇEVRESEL KRİTERLERE DE YER VEREN
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Ferit YAKAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fazıl ÇELİK
2011, 165 Sayfa, Ek (5 Sayfa)

Bu çalışmada; güzergâh tespitinde Çok Kriterli Değerlendirme yapan ve süreçte çevresel kriterlere de yer veren, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden (IDRISI yazılımı) faydalanan 3 aşamalı bir model önerilmektedir. Önerilen modelin birinci aşamasında; yasal, mühendislik veya başka bir açıdan kullanılması mümkün olmayan (veya istenmeyen) alanlar elenmektedir. Tasarım aşaması olan ikinci aşamada; farklı bakış açılarına göre alternatif güzergâhlar geliştirilmektedir. Seçim aşaması olan üçüncü aşamada; ikinci aşamada tespit edilen güzergâh alternatifleri kıyaslanmakta ve en uygun olan güzergâh seçilmektedir.

Önerilen yöntem, Tokat Çevre Yolu Projesi çalışma alanına ait veriler kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen güzergâhın uygulanabilir olmasının yanında pek çok kriteri gözetten bir güzergâh olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ortaya konan modelin farklı karar vericilerin tercihlerine uygun farklı güzergâhlar oluşturulmasına imkân verebildiği, uygulanmasının oldukça kolay olduğu, IDRISI yazılımının süreci oldukça kolaylaştırdığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güzergâh Belirleme, Çok Kriterli Değerlendirme (ÇKD), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), IDRISI, Karayolları ve Çevre

PhD. Thesis

SUMMARY

A GEOGRAPHICAL INFORMATION BASED MULTI CRITERIA MODEL INCLUDING ALSO ENVIRONMENTAL CRITERIA FOR HIGHWAY ALIGNMENT DETERMINATION PROCESS

Ferit YAKAR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Fazıl ÇELİK
2011, 165 Pages, 5 Pages Appendices

In this study; a 3 stage model, which uses Multi Criteria Evaluation and Geographical Information Systems (IDRISI software) together in highway alignment determination process, is recommended. At the first stage of the model; the restricted areas (due to legal, engineering or any other aspect) are eliminated. Second stage is the design stage, where alternative alignments with different viewpoints are generated. Third stage is the selection stage, where alignment alternatives generated in second stage are compared and best one is selected.

The proposed model is tested in the study area of Tokat Bypass. It is seen that, resulting alignment is applicable and many criteria could be taken into consideration in the process. Furthermore, it is seen that proposed model can generate different alignment alternatives with different viewpoints. Lastly, it is concluded that use of IDRISI in the process provides great convenience.

Key Words: Alignment Determination, Multi Criteria Evaluation (MCE), Geographical Information Systems (GIS), IDRISI, Highways and Environment

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Yol nedeniyle şev stabilitesinin bozulması ve erozyon oluşumu	3
Şekil 2.	Tehlikeli madde taşınması sırasında oluşan kaza nedeniyle kirlilik riski	3
Şekil 3.	Yüzey su akış konsantrasyonunda değişiklik	4
Şekil 4.	Yol sebebiyle yer altı su seviyesinde meydana gelen değişiklik	5
Şekil 5.	Yol sebebiyle yer altı suyunun kirlenmesi	6
Şekil 6.	Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği	7
Şekil 7.	Yol ile alıcı arasındaki mesafe 2 katına çıkınca gürültü azalmaktadır ...	10
Şekil 8.	Çeşitli ortamlarda oluşabilecek gürültü düzeyleri	11
Şekil 9.	Gerçek dünyadaki bir durumun raster ve vektör gösterimi	35
Şekil 10.	Macro Modeller'a ait bir ekran görüntüsü	40
Şekil 11.	Önerilen 3 Aşamalı Karayolu Güzergah Tespit Modeli'nin şematik gösterimi	55
Şekil 12.	Çalışma alanına ait eğim haritası (%)	61
Şekil 13.	Boolean yöntemiyle standardize edilmiş eğim haritası	61
Şekil 14.	Sınıflı standardize edilmiş eğim haritası	63
Şekil 15.	Eğim için "klasik küme" ve "bulanık küme" üyelik fonksiyonları	65
Şekil 16.	Sürekli standardize edilmiş eğim haritası	66
Şekil 17.	FUZZY modülüne ait ekran görüntüsü	70
Şekil 18.	Sigmoidal üyelik fonksiyonu	70
Şekil 19.	J şekilli üyelik fonksiyonu	71
Şekil 20.	Doğrusal üyelik fonksiyonu	71
Şekil 21.	Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu	72
Şekil 22.	Uygulama alanı	74
Şekil 23.	Su kirliliği kısıt haritası (1A)	78
Şekil 24.	Çalışma alanına ait dalgallılık haritası	80
Şekil 25.	Çalışma alanına ait yol yapım maliyetleri haritası	81
Şekil 26.	Çalışma alanına ait köprü maliyetleri haritası	82

Şekil 27. Çalışma alanına ait kamulaştırma maliyetleri haritası	84
Şekil 28. Çalışma alanına ait yol kullanıcı maliyetleri haritası	88
Şekil 29. Çalışma alanına ait toplam maliyet haritası	89
Şekil 30. Maliyet kriteri haritası (2A)	90
Şekil 31. Maliyet kriterinin standardizasyonu için oluşturulan model	90
Şekil 32. Turizm gelişimine katkı kriteri haritası (2A)	91
Şekil 33. Ticaret ve sanayi gelişimine katkı kriteri haritası (2A)	92
Şekil 34. Topoğrafya kriteri haritası (2A)	93
Şekil 35. Jeoloji kriteri haritası (2A)	95
Şekil 36. “Eğim (CROSSTAB) Jeoloji” haritası (heyelan bağlamında)	97
Şekil 37. Yapı güvenliği kriteri haritası (2A)	98
Şekil 38. Bakı haritası	99
Şekil 39. İklim haritası	100
Şekil 40. Bakı ve iklim koşulları kriteri haritası (2A)	100
Şekil 41. Konfor kriteri haritası (2A)	101
Şekil 42. Ulaşılabilirlik kriteri haritası (2A)	102
Şekil 43. Trafik güvenliği kriteri haritası (2A)	105
Şekil 44. Diğer modlarla uyum kriteri haritası (2A)	105
Şekil 45. Yaya hareketleri kriteri haritası (2A)	106
Şekil 46. Erozyon kriteri haritası (2A)	108
Şekil 47. Hava kirliliği kriteri haritası (2A)	110
Şekil 48. Gürültü kriteri haritası (2A)	111
Şekil 49. Su kirliliği kriteri haritası (2A)	112
Şekil 50. Ormanlar kriteri haritası (2A)	113
Şekil 51. Yaban hayatı kriteri haritası (2A)	114
Şekil 52. Toprak kirliliği kriteri haritası (2A)	115
Şekil 53. Yeniden yerleşim kriter haritası (2A)	116
Şekil 54. Toplum etkinlikleri kriteri haritası (2A)	117
Şekil 55. Arazi kullanımı değişimi kriteri (2A)	118
Şekil 56. WEIGHT modülüne ait ilk pencere	120
Şekil 57. WEIGHT modülüne ait ikinci pencere	121
Şekil 58. MCE modülü penceresi	123
Şekil 59. EKON KG haritası	124

Şekil 60. MÜH KG haritası	124
Şekil 61. TRAF KG haritası	125
Şekil 62. ÇEV KG haritası	125
Şekil 63. SOS KG haritası	126
Şekil 64. ARZKUL KG haritası	126
Şekil 65. “7-EŞİT” değerlendirme seti için oluşturulan AMY	136
Şekil 66. “8-AHY’Lİ” değerlendirme seti için oluşturulan AMY	138
Şekil 67. Bütün alternatiflerin DEM üzerinde gösterimi	140
Şekil 68. Döşeme yaklaşımının basit gösterimi	145

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Gürültü şiddet dereceleri	11
Tablo 2.	AHY Değerlendirme Ölçeği	50
Tablo 3.	Eğim haritasının sınıflı standardizasyon değerleri	62
Tablo 4.	Birleştirilen tematik haritaların standardizasyon yöntemlerine göre oluşan kombinasyonlar	67
Tablo 5.	Yol yapım maliyetleri (vergiler hariç-2008 yılı için)	80
Tablo 6.	Ortalama köprü maliyetleri (2008 yılı için)	82
Tablo 7.	Kamulaştırma maliyetleri (2008 yılı için)	83
Tablo 8.	“Beton Asfalt- R=2” için yol kullanıcı maliyetleri (2008 yılı için) ...	84
Tablo 9.	20 yıl boyunca araç sınıfları için YOGT değerleri	85
Tablo 10.	20 yıl boyunca araç sınıfları için yol kullanıcı maliyetleri (% 3 düşey eğim için)	86
Tablo 11.	20 yıl için toplam yol kullanıcı maliyetleri (%3 düşey eğim için)	87
Tablo 12.	20 yıl için yol kullanıcı maliyetleri (bütün eğimler için)	88
Tablo 13.	Jeolojik sınıflar ve standardizasyon değerleri	94
Tablo 14.	Eğim için sınıflı standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında)	96
Tablo 15.	Jeoloji için sınıflı standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında) ...	96
Tablo 16.	“Eğim (CROSSTAB) Jeoloji” haritası için standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında)	97
Tablo 17.	Eğim için sınıflı standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında)	106
Tablo 18.	“Eğim (CROSSTAB) Yağış” haritası için standardizasyon değerleri (erozyon bağlamında)	107
Tablo 19.	Arazi kullanım sınıflarına uzaklık haritalarının standardizasyon değerleri (hava kirliliği bağlamında)	109
Tablo 20.	Arazi kullanım sınıflarına uzaklık haritalarının standardizasyon değerleri (gürültü bağlamında)	111
Tablo 21.	İkinci aşama için oluşturulan hiyerarşi şeması	118
Tablo 22.	EKON KG için ikili karşılaştırma matrisi (2A)	121
Tablo 23.	MUH KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)	121
Tablo 24.	TRAF KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)	122
Tablo 25.	CEV KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)	122

Tablo 26.	SOS KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)	122
Tablo 27.	ARZKUL KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)	122
Tablo 28.	“1-EKON” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	129
Tablo 29.	“2-MUH” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	130
Tablo 30.	“3-TRAF” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	131
Tablo 31.	“4-CEV” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	132
Tablo 32.	“5-SOS” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	133
Tablo 33.	“6-ARZKUL” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	134
Tablo 34.	“7-EŞİT” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	135
Tablo 35.	“8-AHY’Lİ” değerlendirme seti için ikili karşılaştırmalar matrisi ...	136
Tablo 36.	“8-AHY’Lİ” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları	137
Tablo 37.	Üçüncü aşama için oluşturulan hiyerarşi şeması	143
Tablo 38.	Üçüncü aşama için AHY ile hesaplanan KG ve kriter ağırlıkları	144
Tablo 39.	Halka yapılan anketin sonuçları	148
Tablo 40.	Güzergah alternatiflerinin kriter maliyetleri	149
Tablo 41.	Standardize edilmiş kriter maliyetleri	152
Tablo 42.	Güzergah alternatiflerinin maliyetleri	153

SEMBOLLER DİZİNİ

ADB	: Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
AMY	: Ağırlıklı Maliyet Yüzeyi
ARZKUL	: Arazi Kullanımı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇAKV	: Çoklu Amaçlı Karar Verme
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇEV	: Çevresel
ÇKD	: Çok Kriterli Değerlendirme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	: Çoklu Nitelikli Karar Verme
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
EKON	: Ekonomik
F/M	: Fayda-Maliyet
GIS	: Geographical Information Systems
KG	: Kriter Grubu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
MÜH	: Mühendislik
OWA	: Sıralı Ağırlıklı Ortalama
SOS	: Sosyal
TÇY	: Tokat Çevre Yolu
TO	: Tutarlılık Oranları
TRAF	: Trafik
YHGP	: Yeşilirmak Havza Gelişim Projesi
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ulaştırma; insanların, malların, haberlerin yer değişimini sağlayan işlerin ve araçların tümü olarak tanımlanabilir (Çelik, 2001). Ulaştırma sektörü, tarım ve sanayi sektörleri gibi mal üreten bir sektör değildir; ancak diğer sektörlerin üretkenliği üzerinde etkili ve gerekli olan önemli bir araçtır. Yeni bir ulaşım sisteminin tesisi veya mevcut ulaşım sisteminin iyileştirilmesi, mekânın ekonomik, toplumsal veya politik yapısını değiştirebilmektedir. Bu nedenle ulaştırma yatırımları sadece kâr veya zarar kriterlerine göre değerlendirilemez veya yatırım kararları sadece kâr beklentilerine göre verilemez. Ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesinde daima, ulaştırmanın ekonomik, sosyal ve politik fonksiyonları göz önünde bulundurulur (Danışman, 2001).

Mevcut ulaştırma türlerinden en yaygın olanı karayollarıdır. Karayolu, Türk Dil Kurumu Sözlüğü'nde "yerleşim merkezlerini birbirine karadan bağlayan yol" olarak tanımlanmaktadır (URL-1). Karayolu yapımı, devlet tarafından alınan önemli bir karardır. Bölgesel kalkınmada önemli bir rolü ve toplum üzerinde uzun dönemli etkileri vardır (Piantanakulchai, 2003).

Yeryüzünü en çok tahrip eden ulaştırma modu da karayollarıdır: Karayollarının yapımı ve işletiminin çevresel zararları büyük boyutlara ulaşabilmektedir.

1.1.1. Karayollarının Çevresine Etkileri

İnşaat Mühendisliği çalışmalarının tamamı, bulunduğu çevreyi az veya çok, iyi veya kötü yönde etkileyen çalışmalardır. İnşaat Mühendisliği yapılarından olan karayolları da, gerek kapladıkları alanın fazlalığı, gerekse yeryüzünü bir ağ gibi sarıyor olmaları nedeniyle çevre üzerinde en fazla etkisi olan insan faaliyetlerindendir (Yakar, 2005).

Karayolu projelerinin, civarındaki topluluklar ve doğal çevre üzerinde doğrudan ve dolaylı olumsuz etkileri olabilmektedir. Nitekim, bu olumsuz etkiler son yıllarda bütün dünyada giderek artan bir şekilde dikkat çekmekte, çeşitli uluslararası kuruluşlar bu konuda çalışmalar ve yayınlar yapmaktadır. Örneğin, Dünya Bankası (1994) tarafından

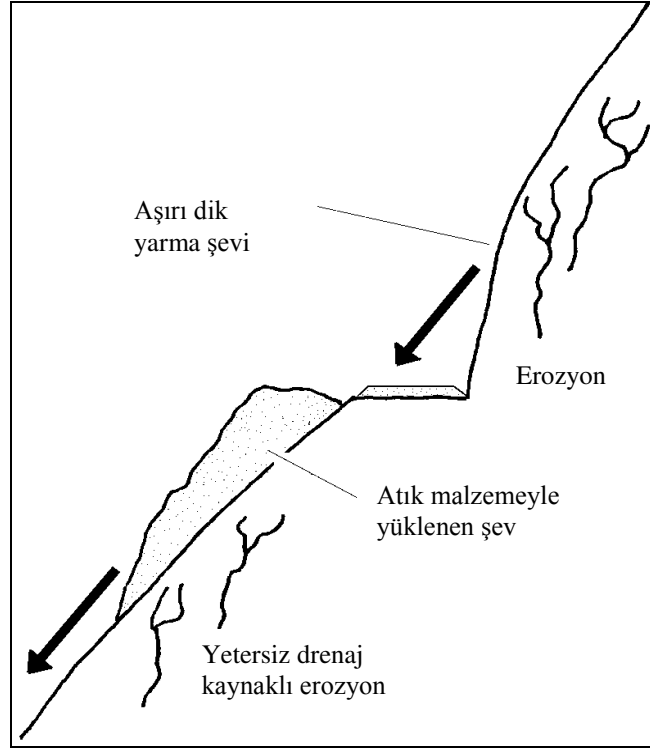
yayınlanan “Karayolları ve Çevre: El Kitabı” adlı kaynakta, karayollarının çevre üzerindeki etkileri ve bu etkileri önlemek veya telafi etmek için alınabilecek önlemler detaylı olarak anlatılmaktadır. Bu kitaptan (Dünya Bankası, 1994) büyük ölçüde faydalanılarak, karayollarının çevreye olan etkilerinden en önemlileri hakkında özet bilgiler aşağıda verilmiştir. Ayrıca bu bölüm (1.1.1 Karayollarının Çevresine Etkileri bölümü) içerisinde kullanılan şekiller de aynı kaynaktan alınmıştır.

1.1.1.1. Toprak Kirliliği ve Erozyon

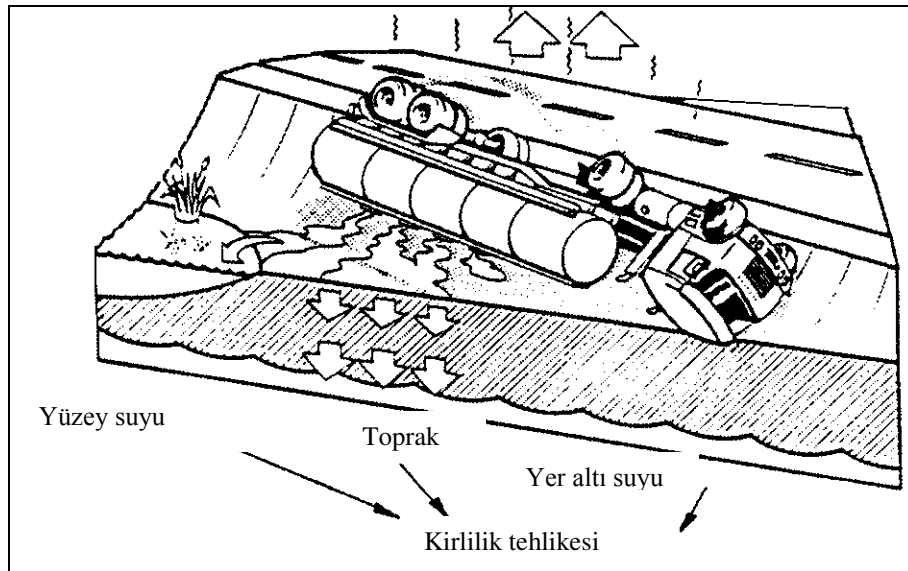
Yol yapım çalışmaları sırasında uygulanan işlemlerden dolayı doğal bitki örtüsü bozulmakta, bitkisel yüzey toprağının yeterince korunamaması ve kazılarak ortamdan uzaklaştırılması sonucunda yolun çevresindeki alanlar hem erozyona maruz kalmakta, hem de yolun ve çevresinin görüntüsü bozulmaktadır. Erozyon, yollarda hendeklerin dolmasına, hendeklerden akan sularla taşınan toprağın büz ve menfezleri doldurup işlerliğini yitirmesine neden olmaktadır. Hendeklerin dolması sonucunda banket ve yol kaplaması yumuşayarak bozulmakta, yollarda kaymalar ortaya çıkmaktadır. Erozyonun neden olduğu bu hasarlar yol yapımı için harcanan büyük miktardaki harcamalara ek olarak yeni harcamalara yol açmaktadır.

Ayrıca, yarma ve dolgu yapımları sırasında şev stabilitesi bozulmaktadır. Yarma şevlerinin dikliği, drenajın yetersizliği ve su akışının değiştirilmesi, toprak kaymalarına neden olmaktadır. Yollarda toprak erozyonuna neden olan faktörlerin başında şevler gelmektedir. Yarmalardan çıkan depo malzemesi, yerli bitki topluluklarını yok edebilmekte, erozyon ve şev stabilitesi problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Özellikle dağlık arazide yapılan yapım çalışmalarında, çok miktarda depo malzemesi çıkmaktadır (Şekil 1.).

Yoğun trafikli yollarda günlük trafik işletimi nedeniyle toprak kirliliği ortaya çıkmaktadır. Krom, kurşun, çinko gibi metaller toprakta yüzyıllarca kalmaktadır. Toprağın kirlenme riski, aynı zamanda yol yapımı ve onu takip eden trafik işletimi sırasında, tehlikeli maddelerin taşınması sırasındaki kazalar ile de ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.).



Şekil 1. Yol nedeniyle şev stabilitesinin bozulması ve erozyon oluşumu (Dünya Bankası, 1994)

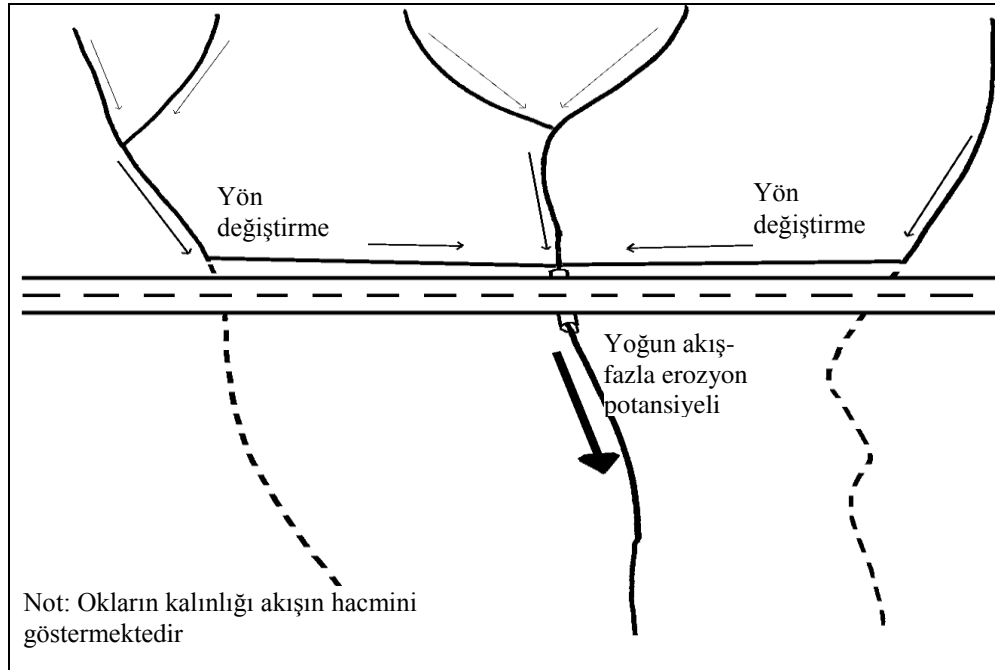


Şekil 2. Tehlikeli madde taşınması sırasında oluşan kaza nedeniyle kirlilik riski (Dünya Bankası, 1994)

1.1.1.2. Su Kirliliği ve Akış Değişiklikleri

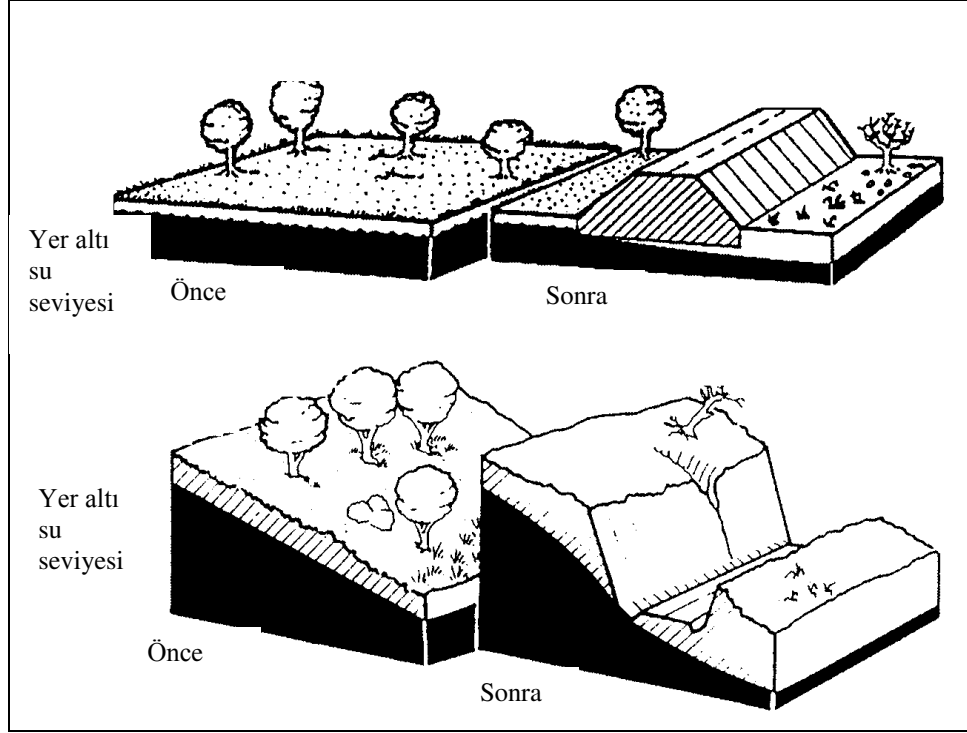
Karayolu gelişimi doğal su çevresinde 3 tür değişikliğe neden olur:

1)Yüzey su akışının değişmesi: Karayolu, yüzey sularının doğal akışını, akışı bazı noktalarda yoğunlaştıracak biçimde değiştirmekte ve çoğu kez akış hızını arttırmaktadır (Şekil 3.). Yerel koşullara bağlı olarak, bu değişiklikler, taşkınlarla, toprak erozyonuna ve nehirlerde birikintilere neden olmaktadır. Bu etkiler, karayolunun yakın çevresinden çok uzak mesafelerde bile hissedilebilmektedir. Yolun kaplanmasıyla toprağın geçirgenliği azalmakta ve su akışı artmaktadır.



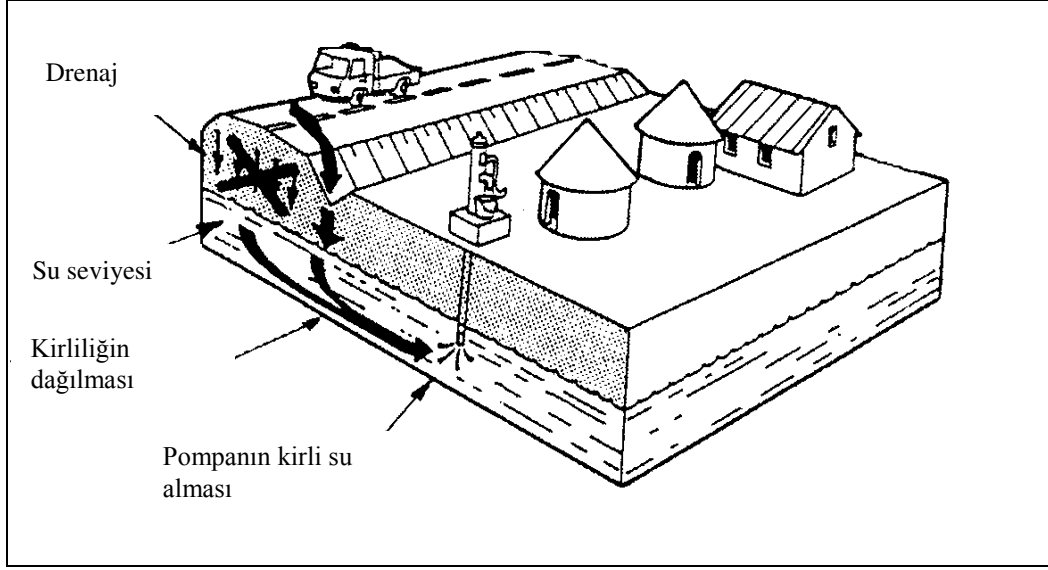
Şekil 3. Yüzey su akış konsantrasyonunda değişiklik (Dünya Bankası, 1994)

2) Yer altı su akışının değişmesi: Karayolu drenajı ve kazıları, karayolunun yakın çevresinde yer altı su seviyesinin düşmesine neden olur. Bunun yanında, yol dolgusu ve yapıları su akışını engelleyerek yer altı su seviyesini yükseltirler. Bunun sonucunda ise erozyon, toprak ve bitkilerde bozulma, içme suyu ve tarım amaçlı suyun yok olması ve yaban hayatının etkilenmesi gibi olumsuz etkiler görülebilir (Şekil 4.).



Şekil 4. Yol sebebiyle yer altı su seviyesinde meydana gelen değişiklik (Dünya Bankası, 1994)

3) Su kalitesinin değişmesi: Sedimentasyon, nehirde ve kıyılarında biyolojik etkinliklerin değişimi, kontrol edilemeyen yapım etkinlikleri ve kimyasal madde ve kirlerin dökülmesi ile yol boyunca su kalitesi olumsuz şekilde etkilenmektedir (Şekil 5.). İçme suyu giriş noktasına yakın geçen, biyolojik değeri büyük olan alanlardan geçen, düşük akış hızına sahip nehirlerin yakınlarından geçen veya filtre özelliği düşük topraklardan geçen yollarda özel dikkat gereklidir. Egzoz emisyonunun ve üst yapı ve lastik yıpranmasının ve metal paslanmasının neden olduğu uzun vadeli kirlilik daha çok yoğun trafikli yollara ait sorunlardır. Mevsimsel kirlilikler ise, kış bakımı için yollara tuz serpilmesi sırasında ve nehirlerin az aktığı periyotlarda ortaya çıkmaktadır. Yol çalışmaları ve yola kazara bazı maddelerin saçılması da önemli etkiler oluşturur.



Şekil 5. Yol sebebiyle yer altı suyunun kirlenmesi (Dünya Bankası, 1994)

1.1.1.3. Hava Kalitesi

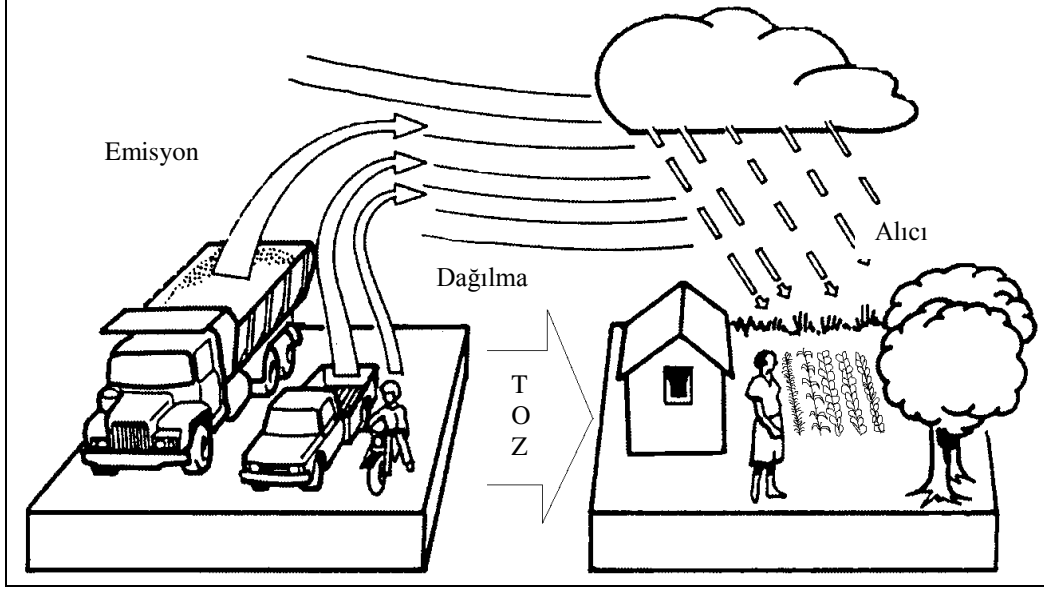
Hava kirliliğinin değişik tanımları bulunmakla birlikte genel anlamda, atmosferde gaz, sıvı veya katı şeklindeki yabancı maddelerin, canlı sağlığına ve yeryüzünün ekolojik dengesine zarar verecek konsantrasyon ve sürede bulunmasıdır.

Hava kirliliğinin, başta insan sağlığı olmak üzere görüş mesafesi, materyaller, bitki ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Hava kirliliğinin, sanatsal ve mimari yapılar üzerinde tahrip edici ve bozucu etkisi vardır. Bitkiler üzerinde ise öldürücü ve büyümelerini engelleyici olabilmektedir. Bu nedenle hava kirliliği hem canlıların sağlığı açısından, hem de ekonomik yönden zarar vericidir.

Taşıtların neden olduğu kirlilik, toplam hava kirliliği içinde büyük bir yere sahiptir (Şekil 6.). Yolcu ve yük taşıyan araçlar benzinli, mazotlu ve gaz tribünlü, içten yanmalı motorla çalışmaktadır. Bu kaynaklardan, yanma sonucu karbon monoksit (CO), azot oksitler (NOx), kükürt oksitler (SOx), hidrokarbonlar (HC) ve partiküler madde (PM) kirlетici olarak atmosfere yayılmaktadır.

Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler bakımından en yüksek emisyonlar araçlar tarafından oluşturulmaktadır. Örneğin, karbon monoksit üreten başlıca kirlетici kaynaklar arasında motorlu araçlar % 66 ile birinci sırada yer almaktadır. Motorlu araçlar ayrıca, % 12 ile en yüksek hidrokarbon emisyonuna ve % 6 ile de en yüksek azot oksit

emisyona sahip bulunmaktadır. Bunlardan başka, özellikle benzinli otomobillerin sebep olduğu kurşun, arsenik ve aldehytler motorlu araç emisyonları içerisinde ön plandadır.



Şekil 6. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği (Dünya Bankası, 1994)

1.1.1.4. Flora ve Faunaya Etkiler

Karayolu projeleri, doğal bitki topluluğunu, hayvan ve su yaşamını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etkiler değişik şekillerde ortaya çıkmaktadır. Karayolunun kendisi dışında, ariyet ocakları, malzemelerin depolandığı alanlar, taşocakları ve bağlantı yolları, doğal çevreyi tahrip etmektedir. Karayolu güzergâhının orman içinden geçmesi durumunda, yolun her iki yanındaki bölgeler arasındaki bağlantının kesilmesi sonucunda, bazı hayvanlar olağan üreme veya mevsimsel beslenme bölgelerine ulaşamamaktadır. Yoğun trafiğe sahip karayollarında, karada veya suda yaşayan veya diğer yavaş hareket eden hayvanların, yolu karşıdan karşıya geçmeleri sırasında ölüm oranları 10 tanede 1 gibi yüksek değere ulaşmaktadır.

Karayolunun yapılması ile birlikte güzergâh boyunca yeni yerleşim yerleri, hatta köyler kurulmaktadır. Bu da tarım amaçlı kullanım için arazi örtüsünün yok edilmesine, yakıt olarak kullanılmak için ağaçların kesilmesine, ormanların yok olmasına ve halka açık yeni alanların ve sosyal altyapıların geliştirilmesine neden olmaktadır.

1.1.1.5. Toplumsal Yaşam ve Ekonomik Etkinlikler

Karayollarının ve diğer alt yapıların, geleneksel ulaşım ve iletişim yollarını kesmesi durumunda, toplumdaki bağlantılarda kopmalar meydana gelmektedir. Yerel ulaşım için sağlanan alternatif güzergâhlar bazen çok uzun olmakta ve doğrudan iş yerlerini, yayaları ve motorlu taşıtlar dışındaki ulaşım türlerini kullananları etkilemektedir. Trafik etkinliğinin artmasıyla birlikte, yerel etkinlikler ile yolun trafik işlevinin güvenlik ve etkinliği arasındaki çatışma da artmaktadır. Çevre yolları, toplumsal yarar ile yol kullanımı arasında çatışmaya neden olan problemlerin bazılarında çözüm olmakta, ancak bu da başka problemleri ortaya çıkarmaktadır.

Tarımsal etkinlikler, tarım alanları yeni yol tarafından bölündüğü zaman veya artan trafik nedeniyle etkilenmektedir. Bu durumda mevcut tarım düzeni bozulmakta ve tarlaların birbiri ile olan bağlantısı kesilmektedir.

Bağlantı yollarının iyileştirilmesi, turizm endüstrisine yarar sağlarken, düzenleme iyi yapılmaz ise bu artan etkinlikler, turistlerin buralara gelmesini engellemektedir.

Alt yapının iyileştirilmesi veya diğer faktörler nedeniyle belli bir bölgedeki arazinin değerinin artması sonucunda, düşük gelirli kiracı ve mülk sahiplerinin buralardan uzaklaştırılması, yani bir çeşit sınıf farkı yaratılması da gözlenebilir.

1.1.1.6. Kamulaştırma ve Zorunlu Yer Değişiklikleri

Karayolu yapımı veya iyileştirilmesi için arazi gerektiğinde, evlerin, arazilerin, iş yerlerinin ve diğer üretime dönük kaynakların istekli olarak satılmasına veya zorunlu olarak kamulaştırılmasına gerek duyulmaktadır. Kamulaştırma işlemi, etkilenen bireylerin ve ailelerinin sosyal bakımdan zarara uğramalarına ve ekonomik kayıplarına neden olmaktadır.

Arazi kamulaştırmasının etkileri yalnızca ekonomik değildir. Etkilerin aynı zamanda sosyal ve psikolojik boyutu da vardır. Ekonomik etkiler, ev ve işyerlerinin, iş gelirlerinin kalıcı veya geçici olarak kaybedilmesi biçimindedir. Bu kayıplar tahmin edilebilmekte ve paraca belirlenebilmektedir. Sosyal ve psikolojik zararın parasal olarak değerlendirilmesi çok zordur ve bazen bu değerler çok fazla zarara uğramaktadır. Bu tür sosyal ve ekonomik değişiklikler, insanlarda fiziksel sağlık problemlerine ve değişik düzeylerde psikolojik depresyonlara neden olmaktadır.

1.1.1.7. Kültürel Mirasın Etkilenmesi

Kültürel miras, bölgeleri, yapıları ve arkeolojik, tarihi, dini, kültürel veya estetik değeri olan kalıntıları kapsamaktadır. Kültürel mirasın ancak bir kısmı ortaya çıkarılmış ve üzerinde çalışma yapılmıştır. Yol yapımı, bu tarihi mirası tahrip etmekle birlikte aynı zamanda yeni bölgelerin keşfedilmesine de yardımcı olmaktadır.

Yol iyileştirme projelerinin kültürel miras üzerinde çeşitli etkileri olmaktadır. Yol yapımı ile taş ocakları, ariyet ocakları gibi yol yapımı ile bağlantılı çalışmalar ve kültürel miras bölgelerine yapılan düzensiz bağlantılar bu eserleri tahrip etmektedir. Tarihi eserlere ve arkeolojik bölgelere estetik açıdan olumsuz etkileri olmaktadır.

Olumlu etkileri ise; bu bölgelere sağlanan iyileştirilmiş bağlantılar ile bu kültür değerlerinin ortaya çıkarılması, bölgeye ait kültür değerlerine daha önce bilinmeyen yeni değerlerin eklenmesi şeklindedir.

1.1.1.8. Estetik ve Peyzaj Etkileri

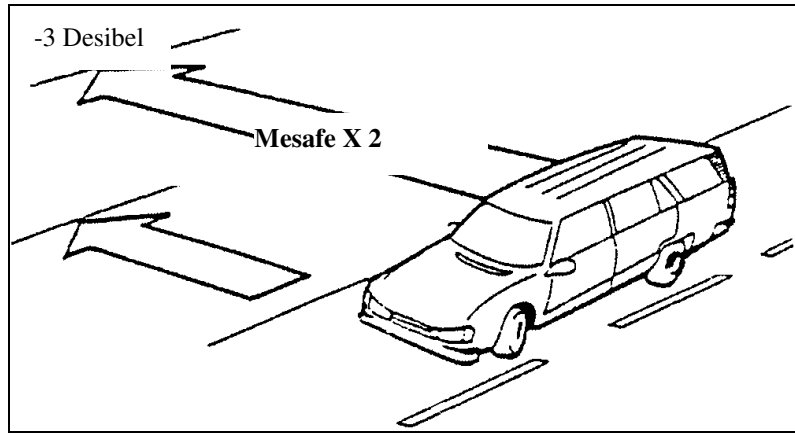
Tüm karayollarının planlama ve projelendirilmesinde, özellikle de özel fiziksel güzelliğe sahip bölgelerden yol güzergâhının geçirilmesi durumunda, görüntü çekiciliği dikkate alınmalıdır. Peyzajı dikkate alarak hazırlanmış iyi bir yol projesi ziyaretçileri kendisine çekecektir. Buna karşın, kötü hazırlanmış bir proje, gerek yolculuk edenlerin, gerekse yerel halkın bölgeye olan ilgisini ve çevrenin güzelliğini azaltacaktır.

Yol güzergâhı topoğrafyayı mümkün olduğunca yakından izlemiyor ve arazinin doğal iniş, çıkış ve şevlerine ters olarak büyük yarma ve dolgulara neden oluyorsa; paralel giden vadileri çapraz veya diyagonal olarak kesiyorsa veya düzgün olmayan yüzey şekline sahip peyzajdan kaçınılmıyorsa; yol yapımı sırasında su yolları yeniden yönlendiriliyor veya kanala alınıyorsa; yol projesi, ormanların yok edilmesine neden oluyorsa; soyutlanmış ağaçların, bulvardaki ağaçların veya çitlerin çevresinden geçmeyip, onları tahrip ediyorsa; vadilerde veya diğer bölgelerde bulunan bitkilerin sürekliliğini kesintiye uğratiyorsa; karayolu iki kent merkezini birbirinden ayırıyor veya mevcut kent düzenini dikkate almıyorsa; karayolu tarihi değerleri olan parkları veya blokları kesip geçiyor veya

arkeolojik veya kültürel değerlerin görüntüsünü kapatıyorsa, estetik ve peyzaj açısından olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır.

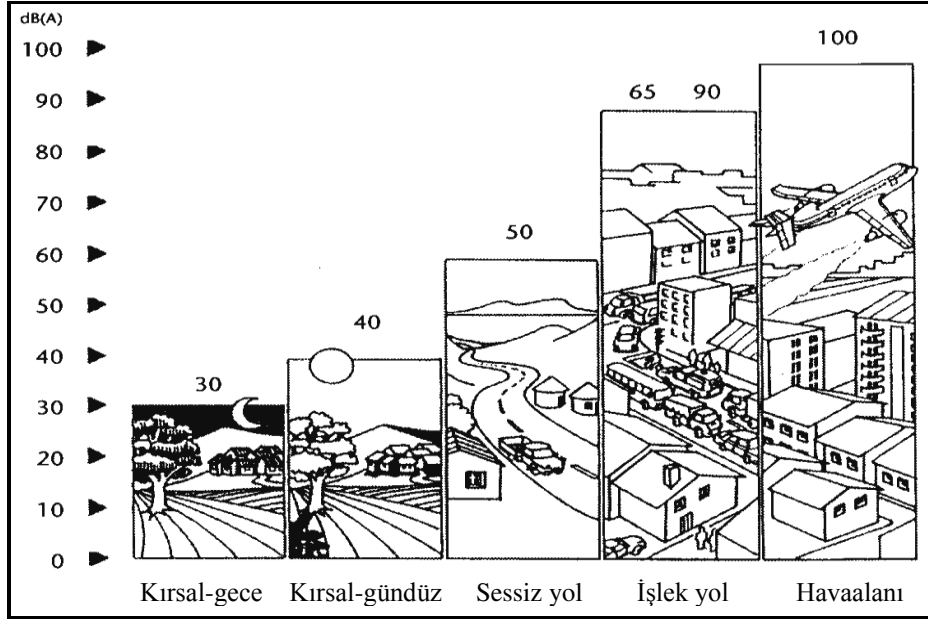
1.1.1.9. Gürültü

Karayolunda seyreden araçların oluşturacağı trafik yoğunluğu nedeniyle olabilecek başlıca olumsuz etkilerden birisi gürültü kirliliğidir. Trafik kaynaklı gürültü genellikle araçların motorlarından, egzozdan ve süspansiyondan kaynaklanır. Trafik gürültüsü, yola olan uzaklığa (Şekil 7.), kullanılan araçların hızına ve cinsine, yolun yarmada veya dolguda olmasına, yolun kaplamasına, eğimlerin dikliğine ve yol boyunda bulunan bitki örtüsüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Yolun düzgün bir örtme tabakası ile kaplı olduğu yüzeylerde normal asfalt veya beton yüzeye göre gürültü daha az olmaktadır. Yol eğiminin dikliği de özellikle ağır taşıtların dik eğimleri çıkarken yaratacakları gürültünün artması nedeniyle önem kazanmaktadır.



Şekil 7. Yol ile alıcı arasındaki mesafe 2 katına çıkınca gürültü azalmaktadır(Dünya Bankası, 1994)

Çeşitli ortamlarda oluşabilecek gürültü düzeyleri Şekil 8.'de, çeşitli gürültü düzeylerinin meydana getireceği etkiler ise Tablo 1.'de verilmiştir. Buna göre, işlek bir yoldaki gürültünün ruhsal zararlar verebileceği ve duyma bozukluklarına sebep olabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 8. Çeşitli ortamlarda oluşabilecek gürültü düzeyleri (Dünya Bankası, 1994)

Tablo 1. Gürültü şiddet dereceleri (Dünya Bankası, 1994)

Gürültü düzeyi	Etkisi
0-35 dB	Zarar vermeyen gürültü
36-65dB	Uyku ve dinlenmeyi bozabilen rahatsız edici gürültü
66-85 dB	Rahatsız, ruhsal zarar veren, duyma bozukluklarına yol açan gürültü (evdeki elektrikli aygıtlar gibi)
86-115 dB	Ruhsal ve fiziksel zarar psikosomatik hastalıklara yol açan gürültü (sanayi gereçleri gibi)
116-130 dB	Tehlikeli gürültü sağırılık ve buna benzer önemli durumlar (uçak gürültüsü gibi)
131-150 dB	Çok tehlikeli gürültü koruyucu bir alet olmadan dayanılmaz. Anında önemli hasarlar (bomba sesi gibi)

1.1.1.10. Trafik Güvenliği

Karayolu kazaları, ölüm, yaralanma ve mal hasarları ile sonuçlanmaktadır. Gelişmişlik düzeyi yüksek olan pek çok ülkede trafik kaza oranları düşerken, yol ağları, seyahat hızları ve motorlu taşıt sahiplik düzeyleri halen gelişme aşamasında olan ülkelerde trafik kazalarında artış gözlenmektedir. Yol iyileştirmeleri, motorlu taşıt kullanıcılarının hareket yeteneğini artırırken kazaları da arttırabilmektedir.

1.1.2. Sürdürülebilir Kalkınma ve Sürdürülebilir Ulaştırma Perspektifi

Tarih boyunca insanlar doğal kaynakların sınırsız olarak bulunabileceğini düşünmüşlerdir; bu ise ekonomistlerin uzun yıllar çevre sorunlarını görmezlikten gelmelerine yol açmıştır. İnsanoğlu, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında teknolojik ve endüstriyel anlamda yaşadığı gelişmeyle birlikte doğal kaynakları sorumsuzca kullanmış ve çevresel değerleri tahrip etmiştir!

Sürekli soluduğumuz havanın kalitesi bozulmuştur. Atmosfere salınan aşırı sera gazları ile küresel ısınma tetiklenmiştir. Toprakla birlikte yüzeysel sular, yer altı suları ve denizler o denli kirlenmiştir ki bu kirliliğe devam edilmese bile mevcut kirliliğin temizlenmesi bile çok uzun süre gerektirmektedir. Yeryüzünün doğal dengeleri altüst edilmiştir, tarım arazileri ve ormanlar yok edilmiş/edilmektedir (Çelik, 2006).

Kalkınma sürecinde doğanın aşırı zorlanması sonucu ortaya çıkan çevresel sorunlar, insanlığı, geleneksel refah anlayışının sorgulanmasına yöneltmiştir. Doğayı tükenmeyen bir faktör olarak değerlendiren bu refah anlayışı zamanla yerini, çevrenin de insan refahı için gerekli ve korunması gereken bir faktör olduğu anlayışına bırakmıştır (Serel, 1993).

Tahrip edilmiş ve kirletilmiş bir çevreyi onarıp temizleyerek yeniden sağlıklı bir hale getirmenin çok güç ve aynı zamanda da pahalı bir iş olduğunun anlaşılması, tüm dünyada sanayileşmenin ve kalkınmanın gereği olan faaliyetlerin çevreyi tahrip etmeden ve kirletmeden; daha gerçekçi bir yaklaşımla, çevreye en az tahribatı verecek ve en az kirletecek şekilde yerine getirilmelerinin en akılcı ve kârlı yaklaşım olduğu gerçeğinin farkına varılmasını sağlamıştır (Çınar, 2002). “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramı bu bağlamda ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir Kalkınma kavramı, doğal kaynaklar ve çevre ile ilgili kamuoyunun gelişiminde son aşamayı temsil etmektedir.

Sürdürülebilir Kalkınma’nın en fazla kullanılan tanımı, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından önerilen ve Ortak Geleceğimiz adlı raporda kullanılan tanımdır. Bu belgede Sürdürülebilir Kalkınma; “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini ortadan kaldırmadan günümüz ihtiyaçlarını karşılamayı sağlayan kalkınma” olarak tanımlanır (WCED, 1987). Burada geçen “ihtiyaçların karşılanması” kavramının içerisinde hem kalkınma ve yaşamın sürdürülmesi için gerekli olan doğal kaynak ihtiyacı, hem de insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıkların depolanması/bertaraf edilmesi ihtiyacı yer almaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma kavramının ulaştırma sektörüne uyarlanmasını ifade eden “Sürdürülebilir Ulaştırma” kavramı ise, 1999 yılında yayınlanan “Çevre ve Ulaştırma” raporunda şöyle tanımlanmaktadır: “Sürdürülebilir Ulaştırma, ulaştırma ihtiyaçlarının; insan sağlığına ve ekosisteme zarar vermeden, yenilenemeyen kaynakların yenilenebilir alternatiflerinin geliştirilmesi hızlarının, yenilenebilir kaynakların ise yenilenme hızlarının altında kalacak şekilde tüketilmesini sağlayarak karşılanmasıdır.”

Sürdürülebilir Kalkınma stratejisinde baştan sona ana tema, karar vermede ekonomik ve ekolojik düşünceleri entegre etmektir. Bu da her düzey ve alandaki uygulamalarda bir değişikliği gerektirmektedir (WCED, 1987). Bu bağlamda, özellikle karayolu projelerinin planlanması, yapımı ve işletilmesinde ekonomik ve ekolojik düşünceleri birlikte ele almayı sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi zorunludur.

1.1.3. Problemin Tanıtımı

Önceki bölümlerde vurgulandığı gibi, ulaştırma yatırımları bulunduğu çevreyi her yönüyle etkileyen yatırımlardır. Bir kez yapıldıktan sonra değiştirilmeleri çok zor ve pahalı olan ulaştırma yatırımlarının planlanmasının oldukça dikkat gerektiren bir çalışma olması gerekir. Zira yanlış belirlenmiş bir yol güzergâhının beraberinde getireceği olumsuz etkiler yol var oldukça var olacaktır.

Karayollarının olumsuz etkilerinden kaçınmak, etkileri azaltmak veya telafi etmek için pek çok şey yapılabilir. Önemli olan, potansiyel etkileri önceden, daha karayolu planlama aşamasında saptamak ve gerekli önlemleri tespit ederek aşama aşama uygulamaktır (Dünya Bankası, 1994). Son yıllarda karayolu planlaması, tüm dünyada yeni ve değişik boyutlar kazanmış bulunmaktadır. Çevre konusunda tüm dünyada giderek artan bilinç, tüm alanlarda olduğu gibi ulaşım ve karayolu planlama alanında da Sürdürülebilir Kalkınma bağlamında yeni yaklaşımlar kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Karayollarından kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerin oluşumunu önlemek ya da etkilenmenin baskıya dönüşmeyecek düzeyde tutulması, tamamıyla yolun konumuna, yani güzergâhına bağlıdır. Yanlış güzergâh seçiminin ortaya çıkardığı etkileri telafi etmek amacıyla sonradan alınan önlemlerin büyük maliyetler gerektirdiği, ancak başlangıçta alınanlar kadar etkili olmadığı görülmektedir.

Günümüzde, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de yatırım projelerinin karar verme sürecinde karar vericinin çevresel ve sosyal faktörleri de dikkate almasını sağlamak

amacıyla Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) kullanılmaktadır. Çevrenin korunması için geliştirilen önleyici çevre politikalarından birisi olan ÇED, “kalkınmanın gereği olan faaliyetlerin çevre üzerinde olabilecek olumsuz etkilerini, faaliyetin gerçekleştirilmesinden önce belirleyebilmek ve ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri azaltabilmek, önleyebilmek veya telafi edebilmek için gerekli önlemleri tespit etmek” amacıyla geliştirilmiştir. “Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği”nin (2003) I nolu Ek'inde, ÇED uygulanacak faaliyetler listesinde “yollar, geçişler ve havaalanları” da yer almaktadır.

ÇED yaklaşımında, önce bir şekilde alternatif güzergâhlar oluşturulur ve bunlardan bir veya birkaçı ele alınarak çevresel ve sosyal etkilerinin ne olacağı tahmin edilmeye çalışılır. Alınabilecek önlemlerin neler olabileceği belirlenir ve buna göre alternatifler için “olumlu” veya “olumsuz” kararı verilir. Yani, çevresel ve sosyal kriterler, proje alternatiflerinin oluşturulması sırasında göz önünde bulundurulamaz; sadece, bir şekilde oluşturulan alternatiflerin çevresel ve sosyal açıdan uygunlukları kontrol edilmiş olunur. Bu şekilde seçilen alternatifin en uygun alternatif olduğunu iddia etme olanağı yoktur; çünkü seçim, başlangıçta sunulan alternatifler arasından yapılmaktadır ki en uygun seçeneğin bunların arasında bulunmasının garantisi yoktur. Kaldı ki mevcut uygulamada bu ÇED süreci bile sağlıklı işlememekte; ÇED, yatırımların gerçekleştirilmesinde aşılması gereken bir engel olarak görülmektedir.

Sonuç olarak, mevcut uygulamada çevresel ve sosyal kriterlerin yol güzergâh alternatiflerinin oluşturulması aşamasında göz önünde bulundurulamaması, bu kriterlerin tam olarak dikkate alınamamasını beraberinde getirmektedir.

1.1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın başlangıcında; karayolu güzergâhları tespit edilirken, sürdürülebilir kalkınma bağlamında çevresel ve sosyal kriterlere yeterince önem verilmediği gerçeğinden hareketle, bu eksikliği gidermeye yönelik bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ancak çalışmaya başlanıldığında görülmüştür ki mevcut uygulamada çevresel ve sosyal kriterlerin dışındaki kriterler de yeteri kadar dikkate alınamamaktadır. Zaten çevresel ve sosyal kriterleri diğer kriterlerden bağımsız düşünmek de mümkün değildir. Başka bir deyişle, karayolu güzergâhı belirlenirken yalnızca çevresel ve sosyal kriterleri göz önünde bulunduran bir çalışma yapmak sürecin doğasına uygun değildir. Dolayısıyla, güzergâh tespitinde bütün (çevresel, sosyal, ekonomik, mühendislikle ilgili, trafik tekniğiyle ilgili,

arazi kullanımıyla ilgili) kriterleri birden dikkate alan bir model geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu da ancak Çok Kriterli Değerlendirme (ÇKD) ile mümkündür.

Diğer çizgisel mühendislik yapılarının güzergâh belirleme çalışmalarında da olduğu gibi büyük alanlarda çalışma yapılmasını gerektiren karayolu güzergâh belirleme sürecinde, kullanılacak verilerin büyük çoğunluğunun konumsal veriler olması sebebiyle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir model kullanılması büyük avantaj sağlayacaktır.

Bu kabuller bağlamında çalışmanın amacı;

“özellikleri belirtilen bir karayolu için; verilen başlangıç ve bitiş noktaları arasında, çevreye zararları en aza indirilmiş, olumsuz sosyal etkileri en aza indirilmiş, ekonomik, mühendislik açısından sorunsuz, trafik tekniğine uygun, arazi kullanımı açısından en uygun güzergâhın tespit edilmesi/seçilmesini mümkün kılan; CBS yeteneklerinden faydalanan bir model” oluşturmaktır.

1.1.5. Çalışmanın Literatüre ve Uygulamaya Katkısı

Aşağıda verilen literatür çalışmalarından görüldüğü gibi, dünyada ve ülkemizde konuya ilişkin çalışmalar yapılmakta; model geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Yapılan çalışmaların bir kısmı, bir şekilde belirlenmiş olan güzergâh alternatifleri arasında bazı kriterlere göre karşılaştırma yaparak en uygun olanını seçme üzerinedir. Bu şekilde seçilen alternatifin en uygun alternatif olduğunu iddia etme olanağı yoktur; çünkü seçim, başlangıçta sunulan alternatifler arasından yapılmaktadır ki, en uygun seçeneğin bunların arasında bulunmama olasılığı vardır. Bunun yanında, önceden verilen kriterlere göre en uygun güzergâh alternatiflerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Genellikle teknik ve ekonomik kriterleri dikkate alan çalışmalar yapılmış, çevresel ve sosyal kriterleri de dikkate alan modeller azınlıkta kalmıştır. Bu çalışma, literatürdeki bu boşlukları doldurmaya yönelik bir çalışma olarak düşünülmüştür. Son yılların geçerli anlayışı olan sürdürülebilir kalkınma anlayışı doğrultusunda, yol planlaması sürecinde, çevresel ve sosyal faktörlerin sadece “ÇED Olumlu” veya “ÇED Olumsuz” kararına esas olmak yerine, güzergâhın oluşturulması aşamasında dikkate alınabilmesini sağlayacak olan, farklı bakış açılarına göre farklı en iyi güzergâhların belirlenebilmesine ve karşılaştırılabilmesine imkân veren, CBS tabanlı bir modelin geliştirilmesi bu alanda önemli bir boşluğu dolduracaktır.

Potansiyel çevre sorunlarının sistematik bir şekilde değerlendirildiği çok kriterli yaygın bir modelin bulunmaması uygulamacıların işlerini zorlaştırmakta; çevre sorunları kişisel bilgi, beceri ve anlayışlara göre değerlendirilmekte ya da hiç değerlendirilmemektedir. Sonuçta “sürdürülebilir ulaştırma” kavramıyla uyuşmayan çok yanlış uygulamalar ortaya çıkmaktadır. Dünyada ve Türkiye’de böylesi yanlış uygulamalara çok sayıda örnek verilebilir. Ülkemizden bazı örnekler sunmak gerekirse; şehirlerarası transit trafik için inşa edilmiş bulunan Karadeniz Bölünmüş Sahil Karayolu’nda hiçbir çevre sorunu değerlendirilmemiş ve tedbiri alınmamıştır. Genellikle kıyı ve deniz dolgusuyla geçirilen yolun hassas kıyı dengelerini altüst eden yapısı yanında, çok yoğun olan ağır trafiğin çevreye yaydığı zehirleyici egsoz gazları ve motor emisyonlarının deniz canlılarına verdiği zararların maliyeti, kıyı boyunca yoğunlaşmış bulunan Karadeniz İnsanı’nın maruz kaldığı büyük boyutlu hava ve gürültü kirliliği ile kazaların maliyetleri hiç hesaba katılmamıştır. Aynı şekilde Ankara-İstanbul Otoyolu’nun yaklaşık yarısı Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinden geçirilmiş ve son depremde Bolu Tüneli çöktüğünden yerine yenisi inşa edilmiştir. Bu yolun Ankara’nın içme suyu havzalarından da geçtiği bilinmektedir. Oysa fay hattını tek noktadan kesip geçen çok daha çevreci ve ekonomik otoyol güzergâhları mevcuttu. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de birçok yol ovaların içerisinden geçirilerek yol çevresindeki tarım alanlarında toprak, su, bitki ve ürün kirlenmesi zamanla büyük boyutlara ulaşmıştır. Yol sadece sözü edilen bu olumsuzluklara sebebiyet vermekle kalmamış bütün yapılaşma ve şehirleşmeyi de üzerine çekerek verimli tarım arazilerinin elden çıkmasına sebep olmuştur. Örnekler çoğaltılabilir.

Gerek mühendislik kriterleri ve gerekse çevre kriterleri açısından en iyi güzergâhın seçilmesi; çok sayıda karmaşık verinin analiz edilerek değerlendirilmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla güzergâh planlamacıları ve karar vericilerin çok üst düzey bir donanıma ve deneyime sahip olmaları gerekir. Önerilen çok kriterli model ise, bu bağlamda, çeşitli kurum ve kuruluşlardaki ve bu kurum ve kuruluşlar için çalışan özel şirketlerdeki güzergâh planlamacıları ve karar vericilere önemli bir destek sağlayacak; bilgi, beceri ve deneyimlerini arttıracak, çevreci projelerin geliştirilmesinde etkili olacaktır.

1.1.6. Literatür Çalışması

Bu çalışma her ne kadar karayolu güzergâhlarının belirlenmesine odaklanmış ise de, diğer çizgisel mühendislik yapılarının (demiryolu, boru hattı, elektrik iletim hattı, vb.)

güzergâh belirleme yöntemleri de benzerdir. Dolayısıyla, literatür taranırken diğer çizgisel mühendislik yapılarının güzergâhlarının belirlenmesiyle ilgili çalışmalar da incelenmiştir.

Güzergâh belirlemede CBS'nin kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Ancak, kullanılan kriter sayıları ve çalışmalarda benimsenen yaklaşımlar oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bazı çalışmalarda sadece bir kriterin (örneğin heyelan) etkisi incelemeye alınırken, bazı çalışmalarda birkaç kriter bir arada değerlendirilmiştir. Bazı çalışmalarda önerilen yolun oluşturacağı etkiler değerlendirilerek alternatifler arasından seçim yapılmaktayken, bazı çalışmalarda ise yolun yapılacağı alan çeşitli kriterler açısından değerlendirilerek en uygun alternatif oluşturulmaya çalışılmakta, yani tasarım yapılmaktadır. Aşağıda, güzergâh tespit sürecinde ÇKD ve CBS'yi birlikte kullanan yayınlardan bir kısmı sunulmaktadır.

- Zura ve Lipar (1995), başlangıç ve bitiş noktaları arasında çevre açısından en az etkiye yol açılan koridoru bulmak için CBS konumsal analizinden faydalanmışlardır. Dikkate alınan çevresel kriterler; nüfus, hayvan ve bitkiler, toprak, su, hava ve iklimdir.
- Feldman vd. (1995), boru hattı güzergâhının belirlenmesinde uzaktan algılama ve CBS kullanarak en düşük maliyet analizi yapan bir prototip geliştirmişlerdir. Boru hattı uzunluğu, topoğrafya, jeoloji, arazi kullanımı, akıntı, sulak alanlar, yollar, demiryolları dikkate alınarak geliştirilen model, Kafkas petrol boru hattının bir bölümünde denenmiştir. Çalışma sonucunda, başlangıç ve bitiş noktalarını birleştiren doğrunun uzunluğu 42 km iken en ucuz bulunan yolun 51 km olduğu; buna rağmen %14 daha ucuza mal olduğu belirtilmiştir.
- Gustavsson vd. (1998), yol yapımında yerel iklim koşullarını dikkate alabilmek amacıyla CBS'den faydalanan bir model geliştirmişlerdir.
- Lee ve Stucky (1998), topografya faktörüne bağlı olarak en düşük maliyetli yol güzergâhını bulmaya yönelik bir algoritma geliştirmiş ve bu algoritmayı bir alan çalışması ile test etmişlerdir.
- Li vd.(1999), yolun çevreye etkilerinin değerlendirildiği CBS tabanlı bir metod geliştirmişlerdir. Çalışmada, çevresel faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisi kullanılmıştır. Yol güzergâhı tasarımlarının yapılması için bilgisayar destekli çizim yazılımı kullanılmış; CBS'de etki haritası çıkarılıp bilgisayar destekli çizim yazılımına aktarılmış, burada güzergâh geçirildikten sonra

CBS'ye aktararak etkiler belirlenmiştir. Geliştirilen yöntem bir uygulama ile test edilmiştir.

- Sadek vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada; güzergâh alternatiflerinin çok kriterli değerlendirilmesinde gerekli olan içerikleri bir araya getiren bir CBS platformu geliştirilmiştir. Geliştirilen arayüzde, kullanıcının fare veya klavye yardımıyla programa girdiği yol güzergâhlarının çeşitli açılardan değerlendirmeleri yapılarak rapor halinde sunulmaktadır. Kriter sayısı, sadece örnek olması açısından dar tutulmuştur. Geliştirilen model, Beyrut'ta bir projede denenmiş ve başarılı olduğu belirtilmiştir.
- Jiang ve Eastman (2000), iki temel ÇKD yaklaşımı olan Boolean ve Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (ADB) Yöntemlerini gözden geçirmişler, ikisiyle ilgili sorunları tartışmışlar ve bu doğrultuda üçüncü bir yaklaşım olarak Sıralı Ağırlıklı Ortalamayı (OWA-Ordered Weighted Averaging) tanıtmışlardır.
- Jha (2000)'nın doktora çalışmasında, verileri elde etmek için CBS kullanılmış, çalışma alanında optimum güzergâhın aranması için "genetik algoritmalar"dan faydalanılmıştır. Ortaya konulan model, gerçek haritaların kullanıldığı örnek çalışmalarda denenmiştir. Bazı çevresel kriterlerin (hava kalitesi, enerji, karayolu trafik gürültüsü, sosyo-ekonomik etkiler, görsel etki, su kalitesi) haritalar ile temsil edilemeyeceği ve ayrı bir analiz yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmada; su, hava ve gürültü kirliliklerinin güzergâh seçimini etkilemediği varsayılmıştır.
- Collischonn ve Pilar (2000), yollar ve kanallar için yöne bağlı en uygun güzergâhı bulmak için dinamik programlamaya dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Raster veri modeli kullanılan çalışmada eğim, uzaklık ve maliyet kriterlerine yer verilmiştir.
- Tümay'ın (2001) doktora tezi, Ağırlıklı Harita Çakıştırma tekniğine dayanmaktadır. Çalışmadaki analizlerde CBS yazılımı olarak Arc/Info ve Arc/View kullanılmıştır. Çalışmada, mühendislik verileri, çevresel veriler ve sosyo-ekonomik veriler başlıkları altında verilerin kullanılması planlanmış fakat gerekli veriler bulunamadığı için çevresel faktörler çalışmada dikkate alınamamıştır. Kullanılmış olan veriler şunlardır: topoğrafya bilgisi, bölgeye ait jeolojik yapı bilgisi, çalışma alanındaki fay hatları, toprak kabiliyetleri haritası, eğim haritası, bakı haritası, ırmaklar ve su kaynaklarının gösterildiği hidroloji haritası, mevcut karayolu ulaşım şebekesinin gösterildiği ulaşım haritası ve yerleşim yeri haritalarıdır. Yapılan çalışmanın sonunda; CBS tabanlı güzergâh belirleme işleminin, karayolu yapım maliyetlerini azaltacağı, karayolu

kusurlarının en aza indirileceği ve yapım çalışmalarının hızlanacağı belirtilmiştir. Eksik verilerin tamamlanması ve verilerin hassasiyetinin artırılması gerektiği belirtilerek, verilerin önceliklerinin dikkate alınabilmesi için katmanlara ağırlıklı katsayılar verilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

- Yalçın (2002), yüksek lisans tezinde ÇKD'yi CBS ile entegre ederek taşkına açık alanların tespitinde kullanmıştır. ArcView 8.1 kullanılmış ve onunla uyumlu çalışan Visual Basic tabanlı bir program yazılmıştır.
- Musa ve Mohamed (2002), orman yol ağı için en iyi güzergâhı bulmaya yönelik çalışmalarında, 3 değişik yöntemle oluşturdukları güzergâhlardan CBS ile oluşturulunun diğer iki yöntem olan elle ve arazi çalışmasıyla oluşturulan güzergâhlardan daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.
- Mantuş'un (2003) yüksek lisans tezinde; Tümay (2001)'in tezindeki yaklaşım kullanılmış, farklı olarak kullanılan kriterlere ağırlıklı katsayılar verilmiştir.
- Çevik ve Topal (2003), Sakarya'nın Hendek ilçesi yakınlarında heyelandan zarar gören Doğalgaz İletim Hattı güzergâhının tekrar belirlenebilmesi için heyelan riski olmayan bölgelerin tespitine yönelik CBS tabanlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.
- Bailey (2003), güneydoğu Amerika'da önerilen bir eyaletler arası yol koridorunun seçiminde ÇKD'yi CBS ile birlikte kullanmıştır.
- 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.
- 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.
- Yusof ve Baban (2004), raster tabanlı bir CBS modeli üzerinden, bir su iletim boru hattı için optimum güzergâhı belirlemiştir. Bu çalışmada arazi örtüsü, yüzey özellikleri, jeolojik yapılar, çevresel etkenler ve eğim değerleri gibi faktörler dikkate alınmıştır.
- Awwad (2005) yüksek lisans tezinde, iki noktayı birleştiren bir yol için optimum güzergâhı bulmak amacıyla CBS'den faydalanmıştır. Yalnızca üç kriterin (arazi maliyeti, eğim ve çevresel özellikler) dikkate alındığı çalışmada raster veri

kullanılmış ve ArcView 8.1 yazılımındaki Spatial Analyst paketinden faydalanılmıştır.

- Saha vd. (2005), Himalayalar bölgesinde bir yol projesinde optimum güzergâhı belirleyebilmek için uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanmışlar, günümüzde güzergâh planlama çalışmalarında artık uzaktan algılama/CBS entegrasyonunun etkin olarak kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Ortaya koydukları bu modelin güzergâh belirleme sürecini çok kısalttığını ve CBS tekniklerinin güzergâh belirleme işlemlerinde kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.
- Kaya (2006), yüksek lisans çalışmasında; çok amaçlı karar verme ile CBS'yi bir arada kullanmıştır. "Basit Eklemeli Ağırlıklandırma" ve "İdeal Nokta Yöntemi" kullanılmış ve bulunan sonuçların çok benzer olduğu tespiti yapılmıştır.
- Djenaliev (2007), yüksek lisans çalışmasında; demiryolu güzergâhı ve istasyon yeri seçiminde sosyo-ekonomik, teknik ve çevresel konuların ele alınabilmesi için CBS'den faydalanmıştır. Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımının benimsenmiş olduğu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve ADB yöntemlerinden faydalanılmıştır. Arc GIS ve IDRISI yazılımları kullanılmış, uygun maliyet yüzeyi oluşturulduktan sonra en iyi seçeneğin bulunması için bir algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca, kriterleri standardize ederken Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets) kullanılmıştır.
- Dane ve Tecim (2007)'in çalışmalarında, hafif raylı taşıma sistemleri için en uygun güzergâhın belirlenebilmesinde kullanılabilecek CBS tabanlı bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Raster tabanlı bir CBS'de ağırlıklı ekleme kullanmanın daha kullanışlı ve pratik olduğu belirtilmiştir.
- Öztürk (2007), doktora tezinde; CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizi ile Elektrik İletim Hatları için optimum güzergâh planlaması yapmıştır. Çalışmada, çalışma alanına ilişkin arazi kullanım haritası, arazi kullanım kabiliyeti haritası, erozyon haritası, yol haritası, imar planı ve sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Gerçek uzaklık bulmada mekânsal çözünürlüğün etkisi analiz edilmiştir.
- Moghaddam ve Delavar (2007), İran'daki boru hatlarının güzergâhlarının tespitinde raster tabanlı CBS'den faydalanan bir çalışma yapmışlardır.
- Boroushaki ve Malczewski (2008), OWA kullanarak, CBS ile AHY'nin birlikte kullanımına odaklanmışlardır. Çalışmada, ArcGIS 9.1. programı içerisinde bir sistem geliştirilmiştir.

- Yıldırım (2009), doktora çalışmasında; doğalgaz iletim hattı güzergâhlarının belirlenmesinde çok kriterli karar vermeyi mümkün kılan raster CBS tabanlı bir model önermiş ve bununla ilgili olarak ArcGIS 9.2 yazılımı üzerinde bir arayüz geliştirmiştir.

1.1.7. Çalışmanın Yapısı

Çalışmanın “GENEL BİLGİLER” başlıklı 1. bölümünde; karayollarının çevresine etkileri, Sürdürülebilir Kalkınma ve Sürdürülebilir Ulaştırma perspektifleri, problemin tanıtılması, çalışmanın amacı, çalışmanın literatüre ve uygulamaya katkısı, literatür çalışması ve çalışmanın yapısı konularının yer aldığı “Giriş”ten sonra, “Karayolu Güzergâh Tespiti” konusu ele alınarak, doğru güzergâh tespiti yapmanın önemi, güzergâh tespitinde kullanılan klasik yöntem ve bu yöntemin sakıncaları sunulmuş, bahsedilen sakıncalardan yola çıkarak karayolu güzergâh tespiti sürecinde dikkate alınması gereken genel prensipler ortaya konulmuştur.

Devamında, “Güzergâh Belirlemede CBS Kullanımı” bölümünde; CBS ile ilgili genel bilgiler verilmiş, vektör ve raster veri modelleri karşılaştırılmış ve raster tabanlı ağ analizi yöntemi açıklanmaya çalışılmıştır. Yine aynı bölümde CBS’nin güzergâh belirlemede kullanılmasının sağlayacağı faydalar tartışılmıştır. Çalışmada kullanılan CBS yazılımı IDRISI’nin tanıtımı da bu bölümde yapılmıştır.

“Karar Verme” bölümünde; ulaştırma konularında karar verme konularına giriş yapılmasının ardından “Çok Kriterli Karar Verme” tanıtılmıştır. ÇKD ile CBS’nin birlikte kullanılması konusu adım adım anlatıldıktan sonra Analitik Hiyerarşi Yöntemi’nin aşamaları adım adım anlatılmıştır. IDRISI’nin karar verme konusunda sağladığı kolaylıklar da bu bölümde ele alınmıştır.

Çalışmanın, “YAPILAN ÇALIŞMALAR” başlıklı 2. bölümünde; önce çalışmada önerilen “3 Aşamalı Karayolu Güzergâh Tespit Yöntemi” adlı model tanıtılmış, modelin üç aşaması (Birinci Aşama: Kısıtların Uygulanması, İkinci Aşama: Güzergâh Alternatiflerinin Oluşturulması ve Üçüncü Aşama: Güzergâh Alternatiflerinin Karşılaştırılması/Seçim Yapılması) detaylı olarak açıklanmıştır.

Devamında, “Kriter Haritalarının Hazırlanması ve Standardizasyonu” konusu ele alınmıştır. Standardizasyon kavramının tanıtılması ve gerekliliğinin vurgulanmasından sonra tek haritanın kullanılmasıyla temsil edilen kriterlerin standardizasyonu için

kullanılan yöntemler sunulmuştur. Birden fazla haritanın bir arada kullanılmasıyla ele alınan kriterlerin haritalarının oluşturulması için izlenen yol da açıklandıktan sonra IDRISI coğrafi bilgi sistemleri yazılımının standardizasyon konusunda sağladığı avantajlar sunulmuştur.

Geliştirilen model, “Uygulama” bölümünde gerçek bir karayolu projesinin (Tokat Çevre Yolu-TÇY) çalışma alanında test edilmiştir. Bu bağlamda; TÇY hakkında bazı bilgiler verildikten sonra uygulama alanına ait bazı haritaların IDRISI’de kullanılabilir hale dönüştürülmeleri açıklanmıştır. Daha sonra önerilen modelin her üç aşaması, TÇY uygulama alanına ait haritalar kullanılarak adım adım gerçekleştirilmiş ve ortaya çıkan güzergâh mevcut TÇY güzergâhıyla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın “SONUÇLAR” başlıklı 3. bölümünde; çalışmadan çıkarılan sonuçlara yer verilmiş, “ÖNERİLER” başlıklı 4. bölümünde ise geliştirilen modelin iyileştirilmesi için yapılabilecek ek çalışmalara yer verilmiştir.

1.2. Karayolu Güzergâh Tespiti ve Önemi

Karayolu güzergâh araştırması, genel anlamda, yolun geçmesi zorunlu olan noktaları birbirine bağlayan seçenekler arasında en uygun olanını bulmak için yapılan bir çalışmadır (Yayla, 2002). İki nokta arasında, projenin yapımına, işletilmesine ve sürdürülebilirliğine etki edebilecek bütün faktörlerin irdelenmesi suretiyle belirlenen en düşük maliyetli güzergâh, optimum güzergâh olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım, 2009; Zhang, 2003). Burada kullanılan “maliyet” kelimesi salt “parasal maliyet” olmayıp, çeşitli kriterlerin sahip olduğu izafi maliyetleri ifade etmektedir.

Uzaydaki iki noktayı birleştirmek için çok sayıda olası seçenek olduğundan, en iyi güzergâhın seçimi çok zor bir iştir (Jha, 2000). Başlangıç ve bitiş noktaları önceden belirlenmiş bir yol 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 (Huang vd., 2004; Yıldırım, 2009)

Sürdürülebilir Ulaştırma kavramının geliştirildiği son zamanlarda, bütün dünyada, güzergâh belirleme çalışmaları önemli araştırma alanlarından biri olarak görülmektedir.

Karayolunun gerek yapım, bakım ve onarım maliyetleri, gerekse işletim aşamalarındaki performansı ve çevresine olan etkileri büyük ölçüde yolun güzergâhına bağlıdır. Bu nedenle, güzergâh belirleme aşaması çok önemlidir.

Karayollarının yaygın karakteristik özelliklerinden birisi, yapım aşamasına geçildikten sonra herhangi bir olumsuz durumda güzergâh değişikliği işleminin çok zor yapılmasıdır. Planlanma aşamasına önem verilerek, en uygun güzergâhın seçilmesi ve önlemlerin alınmasından sonra uygulamaya geçilmesi, daha doğru ve ekonomik olan yoldur.

Anlaşılabacağı üzere, karayolu için nihai güzergâhların tespit edilmesi çok üst seviyede bilgi ve tecrübe gerektiren ve pek çok kriterin aynı anda göz önünde bulundurulması zorunlu olan karmaşık bir çalışmadır (Husdal, 2001). En uygun güzergâhı belirleyebilmek, birçok karmaşık verinin birlikte irdelenmesine, sorgulanmasına ve analiz edilmesine dayalıdır (Ahmad, 2006).

1.2.1. Güzergâh Tespitinde Klasik Yöntem

Türkiye’de karayollarının sorumluluğu Karayolları Genel Müdürlüğü’ne (KGM) verilmiştir. KGM, sorumluluğunda bulunan yolların tasarımının yanında, yapım, bakım ve işletiminden de sorumlu bulunmaktadır. Demiryollarının ve orman yollarının tasarım aşamaları da karayollarının tasarım aşamasına büyük ölçüde benzerdir. Bunlardan başka, boru hattı, enerji iletim hattı gibi diğer çizgisel mühendislik yapılarının güzergâh tespitinde de karayolu güzergâh belirleme sürecine benzer süreçler kullanılmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde, KGM’de kullanılan prosedür anlatılmıştır.

1.2.1.1. Planlama Çalışmaları

Bir yolun yapımına karar verilmeden önce planlama çalışmalarının tamamlanması gereklidir. Bu amaçla; ulaşım etütleri, envanter çalışmaları, tahminler, ekonomik analiz ve alternatifler üzerinde çalışma olarak özetlenebilecek temel sosyo-ekonomik etütler yapılır (URL-2).

Ulaşım etütlerinin amacı, karayolunda gerçekleşen birim maliyetleri tespit etmek ve karayolunu kullanan taşıt, yük ve yolun akımının temel karakteristiklerini ortaya

çıkarmaktır. Bu nedenle her yıl karayollarında otomatik sayım cihazları (hareketli ağırlık ölçüm cihazları, indüktif looplar, havalı hortumlar) ve el ile trafik sayımları yapılmakta, taşıtların sınıfı, hızı ve ağırlığı vb. bilgiler elde edilerek bunlar yayımlanmaktadır. Ayrıca her yıl dingil ağırlığı etütleri gerçekleştirilmektedir.

Envanter çalışmaları, gerçekleştirilecek çalışmaların sağlıklı olabilmesi ve en uygun programın yapılabilmesi için yol ağı hakkında ayrıntılı ve doğru bilgilerin derlenmesini içermektedir. Yolların tanımlanması, uzunlukları, kaplama tipleri, banket genişlikleri, arazi tipi, demiryolu hemzemin geçişleri, eğimi, kapasite bilgilerini ve diğer önemli bilgileri kapsayan karayolu envanter ve istatistik çalışmaları belirli periyotlarla yapılmaktadır.

Tahminler, projenin gelecekteki kullanıcı taleplerine mevcut altyapı ve malzeme ile hizmet verip veremeyeceğinin, ilave yatırımın gerekli olup olmadığının nerede, ne zaman gibi sorulara yanıt bulunarak belirlenmesini sağlar. Bu amaçla, mevcut trafik bilgileri ve ayrıca trafiği etkileyen sosyo-ekonomik veriler kullanılarak mevcut durum ve alternatif projeler için ayrı ayrı tahminler yapılmaktadır.

Ekonomik analiz ve alternatifler üzerinde çalışma, fayda-maliyetlerin karşılaştırılarak projelerin cazip olup olmadıklarını araştırmak ve bunlar arasında öncelik sıralarını ortaya çıkarmak üzere yapılan çalışmadır. Bu çalışmada proje değerlendirme teknikleri kullanılmaktadır.

1.2.1.2. Etüt ve Proje Çalışmaları

“Etüt ve Proje” çalışmaları, fizibilitesi ve önceliği tespit edilerek programa alınan yolların Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı ve Yüksek Planlama Kurulunca onaylanmasından sonra başlamaktadır (URL-2). KGM prosedüründe, yapılacak yolun güzergâhının belirlenmesi, “Etüt ve Proje” çalışmalarının içerisinde değerlendirilir.

1.2.1.2.1. Yol Sınıfının Tespiti

Hizmet edilecek trafiğin hacmi ve bileşenleri, yolun geçeceği arazinin topoğrafyası, öngörülen hizmet seviyesi ve mevcut bütçe olanakları gözetilerek planlanan yolun sınıfı tespit edilir. Tespit edilen sınıfa göre Karayolu Geometrik Standartları Tablosu’ndan projede kullanılacak standartlar (proje hızı, minimum kurp yarıçapı, maksimum boyuna

eğim, düşey kurp katsayısı, maksimum dever, şerit genişliği, banket genişliği, vb.) belirlenir.

1.2.1.2.2. İstikşaf (Ön Etüt)

Proje çalışmalarının ilk aşaması, istikşaftır. İstikşaf, ana kontrol noktaları arasındaki arazinin, mümkün görülen güzergâhların ortaya çıkarılması amacıyla fazla ayrıntıya girilmeden araştırılmasıdır (Yayla, 2002). İstikşaf çalışmaları için aşağıda belirtilen araştırmaların yapılması gereklidir (Kiper, 2002 ve Yayla, 2002):

- Harita (1/25.000 ölçekli eşyükselti eğrili haritalar) ve fotoğraflardan güzergâh araştırması: Belirlenen eğim ve harita ölçeğine göre açılan pergel marifetiyle eşyükselti eğrili harita üzerinde başlangıç noktasından başlayıp bitiş noktasına ulaşacak, kırık çizgilerden oluşan ve sıfır poligonu adı verilen güzergâh seçenekleri haritada işaretlenir. Daha sonra, sıfır poligonundan mümkün olduğunca az ayrılacak şekilde alıymanlar ve kurbalar haritaya eklenir ve güzergâhın eksen hattı ortaya çıkar.
- Tespit edilen güzergâhların jeolojik durumu için zemin elverişlilik raporunun hazırlanması: Kullanılacak harita ölçeğinin büyüklüğü ve hazırlanacak raporun detay derecesi, yapılacak yolun sınıfına, eldeki olanaklara ve araştırmada istenen hassasiyet derecesine göre değişir. Genellikle 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları yeterli olmaktadır. Uygun olmayan güzergâh alternatifleri elenir ve sebebi açıklanır.
- Tespit edilen güzergâhların arazide gezilerek tetkikinin yapılması: Toprak işi, sanat yapıları gibi konulardan dolayı maliyetinin yüksek olacağı hemen belli olan, topoğrafik durumu sebebiyle işletme ve bakım giderlerinin fazla olacağı anlaşılan seçenekler, jeolojik oluşum ve geoteknik yönden uygun olmadığı açıkça anlaşılan seçenekler elenir ve sebebi bir raporla açıklanır.
- Güzergâh alternatiflerinin ekonomik analizlerinin yapılması: Ekonomik karşılaştırma yapmak için kullanılabilecek pek çok yöntem olsa da en çok kullanılan yöntem Fayda/Maliyet (F/M) analizi yöntemidir. F/M analizi, alternatif yatırım projelerinin karşılaştırılmasında kullanılan bir analiz yöntemidir. Yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlaması beklenen gelirlerin, projenin gerektirdiği

yatırım harcamaları ile karşılaştırılmasını içermektedir.

- Ekonomik analiz sonuçlarına göre, tüm verilerin değerlendirilerek kesin güzergâh tespit çalışmasına geçilmesi: Ekonomik analiz sonuçlarına göre uygun olabileceğine karar verilen alternatiflerin daha detaylı değerlendirmesinin yapılabilmesi için daha büyük ölçekli haritaların kullanıldığı etüt aşamasına geçilir.

1.2.1.2.3. Güzergâh Haritası (Etüt)

Bu aşamada, güzergâhın geçeceği alanın eş yükseklik eğrili şerit şeklinde haritasını çıkarmak için arazi ve büro çalışması yapılır. Etüt haritası genel olarak 1/2.000 ölçeğinde hazırlanır. Şehir ve kasaba geçişlerinde ve daha fazla detay gösterilmesi gereken yerlerde etüt ölçeği olarak 1/1.000 kullanılır. Etüt haritalarının genişliği, arazinin özelliğine ve yol genişliğine göre değişmekle birlikte genel olarak 100-300 m arasındadır. Etüt çalışmaları klasik ve fotoğrametrik olarak iki yöntemle yapılır.

Klasik yöntemde; arazide (poligon tespiti, detay alınması, kroki çizimi) ve büroda (kotlandırma, koordinat hesabının yapılması ve poligon hattının çizilmesi, detay noktalarının işaretlenmesi, şekillerin belirtilmesi ve eş yükseklik eğrilerinin çizilmesi, etüt paftasının aydınere çizilmesi, etüt paftasına yol güzergâhının geçirilmesi) uzun bir takım çalışmalar yapılması gerekmektedir. Fotoğrametrik yöntemde ise; nirengi yerlerinin büroda belirlenmesi, nirengi yerlerinin arazide belirlenmesi, işaretleme, baz tesisi ve ölçülmesi, hava fotoğraflarının çekilmesi, nirengi kot ve koordinatlarının hesabı, ortofotoların üretilmesi, fotoğraflardan olası yol güzergâhının tespiti, fotoğraflardan 1/2000 ölçekli etüt paftasının çizimi, çizilen etüt paftasında kesin güzergâhın tespiti, güzergâhın çözümü gibi adımlardan oluşan bir çalışma gereklidir.

1.2.1.2.4. Aplikasyon

Aplikasyon, yol ekseninin araziye uygulanma işlemidir. Bu aşamada; somelerin araziye tespiti, piketaj, nivelman ve enkesit alımı gibi teknik işlemler gerçekleştirilir.

1.2.1.2.5. Plankote

Belirli bir arazi parçasının kotlu olarak çizilmiş planına plankote denilmektedir. Plankote hazırlanması için yapılan arazi ve büro çalışmaları etütteki gibidir. Plankoteler 1/500 veya 1/1.000 ölçeğinde çizileceği için detay noktaları daha sık alınmalıdır. Plankote, amacına göre; köprü yeri plankotesi, demiryolu geçit yeri plankotesi, kavşak yeri plankotesi gibi isimler almaktadır.

1.2.1.2.6. Proje

Klasik yöntem ile araziden, fotoğrametrik yöntem ile kıymetlendirme aletinden elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi ile proje aşamasına geçilir. Proje çalışmalarının aşamaları şunlardır: enkesit çizimi, profil çizimi, kırmızı hat çizimi, kırmızı kot hesabı, hidrolik sanat yapılarının tespiti, profil tetkiki, araştırma raporunun hazırlanması, dever hesabı, kübaj hesabı, brückner çizimi ve denge çizgisinin tespiti, en ekonomik kırmızı hattın tespiti, proje paftalarının çizimi, metraj hesabı.

1.2.2. Klasik Güzergâh Tespit Yönteminin Sakıncaları

Yukarıda açıklanan alternatif güzergâhları tespit etme prosedürü, bugüne kadar kullanılmış ve bir ölçüde başarılı sonuçlar ortaya koymuşsa da, birçok sakıncası olduğunu da belirtmek gereklidir. Mevcut güzergâh tespit prosedürünün sakıncalarından bazıları aşağıda sunulmaktadır.

- Mevcut güzergâh belirleme prosedüründe, birçok gelişmekte olan ülkede olduğu gibi; 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak büro çalışmaları yapılmakta, güzergâh veya alternatif güzergâhlar büyük ölçüde eğim kriterine bağlı olarak (izin verilen eğime göre ayarlanmış doğru parçalarının eşyüksekti eğrili hatita üzerinde işaretlenmesi şeklinde) belirlenmektedir. Bu yaklaşımda projeye göre değişik önceliklerle dikkate alınmaları gereken, çevresel, sosyal, ekonomik, mühendislik, arazi kullanımı ve trafik tekniğiyle ilgili birçok kriter güzergâh tespit çalışmasında kullanılamamaktadır.

- Daha sonra, detaylı çalışma için ilgili koridora ait 1/2.000 ölçekli haritalar temin edilmekte ve bunların üzerinden detaylı tespit yapılmaktadır. Sonra tekrar araziye gidilip inceleme yapılmaktadır. Bu çalışmalar, zaman alıcı ve maliyeti yüksek çalışmalardır.
- Güzergâha etki eden etkenlerin bütüncül olarak dikkate alınamamasından dolayı projelerin yapım faaliyetleri, işletilmesi ve kullanım süreleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Birçok durumda olması gerekenden fazla sayıda akarsu, yol ve demiryolu geçişi yapılmakta; bu durum projenin maliyetini, süresini ve işletim masraflarını arttırmaktadır.
- Yapım sırasında bir sorun çıkması durumunda, sorunu çözmek için genelde yapılan; sorunlu kısımda yolun sağa sola kaydırılması veya bazı durumlarda da belli bir uzunlukta geri alınmasıdır. Önceden tespit edilemeyen riskli alanlardan geçiş durumunda, koruma yapıları için ek maliyetler ortaya çıkmakta ya da bir tehlike durumunda yapım faaliyetlerine ara verilmektedir. Sorunun aşılması için yapılacak ek çalışmalar bazen büyük harcamalara ve zaman kayıplarına neden olmaktadır. Bazen de bu sorunun hiçbir şekilde aşamayacağı veya çok pahalıya mal olacağı anlaşıldığında yeni güzergâh arayışına yönelmek gerekebilmektedir ki bu durumdaki zaman ve para kaybı çok daha fazla olmaktadır.
- Mevcut uygulamada somut ve bilimsel bir prosedür açıkça ortaya konulmadığı için, güzergâhın belirlenmesi aşamasında çeşitli siyasi ve bölgesel talepler-baskılar sonucunda, güzergâhta rasyonel olmayan değişiklikler yapmak mümkün olabilmektedir. Bunun sonucunda telafisi çok güç olan veya bazen de mümkün olmayan yanlışlar yapılabilmekte, bu yanlışların faturası uzun yıllar ödenmek zorunda kalılabilmektedir.
- Mevcut uygulamada, çözüm için somut bir prosedür olmadığından kişiden kişiye değişebilecek yargıların yeri büyüktür. Tasarımcının neredeyse sınırsız sayıdaki alternatifleri kendi tecrübesine ve değer yargılarına göre değerlendirmesine dayalı olan klasik yaklaşımda belirlenen güzergâh, “en uygun (optimum)” olmaktan ziyade en iyi ihtimalle “tatmin edici” olarak nitelendirilebilir (Awwad, 2005). Yani, seçilenden daha uygun, daha ekonomik vs. bir güzergâh bulunması her zaman mümkündür.
- Mevcut prosedürde, yol güzergâhının ve alternatif güzergâhların belirlenmesi ile birlikte yola ait ÇED sürecinin de başlatılması gerekmektedir. Ancak, uygulamada

ÇED konusuna gereken önem verilmemekte; ÇED bir nevi aşılması gereken bir engel olarak görülmekte; bunun sonucunda da çevreye zararları büyük olan projeler ortaya çıkmaktadır (Yakar, 2005).

1.2.3. Güzergâh Belirleme Sürecinde Dikkate Alınması Gereken Prensipler

Mevcut uygulamada güzergâhlar, esas itibarıyla, eğim kriterine göre belirlenmekte, diğer faktörlere yeterince yer verilmemektedir. Alternatif güzergâhların karşılaştırılmaları da genelde yalnızca ekonomik kriterlere göre yapılmakta, estetik, hava kirliliği, gürültü, tarihi eserler, doğa gibi pek çok kriter paraya çevrilemediği için dikkate alınamamaktadır. Ülke kaynaklarının etkin yönetilmesi açısından, mevcut klasik güzergâh belirleme yönteminin yenilenmesi gereklidir.

Yol güzergâhları belirlenirken, zaman zaman birbiriyle çelişmesi de mümkün olan pek çok kriterin bir arada değerlendirilmesine ve mümkün olan en fazla sayıda kriter açısından en uygun olan güzergâhın tespit edilmesine ihtiyaç vardır (Sadek vd., 1999). Güzergâh tespiti çalışmasında, değerlendirmeye katılacak kriterlerin belirlenmesi, sürecin en can alıcı noktasıdır. Güzergâh tespitinde kullanılacak kriterleri tespit etmek için, önce bazı genel prensipleri ortaya koymanın, bu prensiplerden hareketle somut kriterlere ulaşmanın uygun bir yol olacağı düşünülmektedir.

Bu prensiplerin ortaya konulması için, Yayla'nın (2002) kitabında yer verilen, "Karayolu Güzergâh Tespitinde Kullanılan Ölçütler" başlığı altında sunulan maddeler bir çıkış noktası olabilir. Ayrıca, karayollarının sebep olabileceği çevresel olumsuzluklar konusunda, Dünya Bankası'nın yayınladığı ve Yollar Türk Milli Komitesi tarafından Türkçe'ye çevrilen "Karayolları ve Çevre: El Kitabı"ndan faydalanılabilir. Faydalanılabilecek başka bir liste ise, Kiper (2002) tarafından yazılan "Karayolu Projesi Temel Bilgileri" adlı kitaptaki "Yatay Eksen Tespitinde Göz Önünde Tutulacak Hususlar" başlığı altındaki listedir. Önceleri KGM tarafından "Etüt Proje Dairesi Çalışma Notları" olarak kullanılmaktayken, geliştirilerek Yollar Türk Milli Komitesi tarafından kitap olarak yayınlanan bu kitaptaki liste, Yayla'nın kitabındaki liste ve Karayolları ve Çevre: El Kitabı'ndaki konu başlıkları bir arada değerlendirilerek ve yorumlanarak, güzergâh tespitinde kullanılacak genel prensipler tespit edilmiştir:

- Güzergâh, ana kontrol noktalarını birbirine bağlamalıdır. Bir yolun başlangıç ve bitiş noktaları ile aradaki büyük yerleşme merkezleri gibi geçilmesi zorunlu olan yerlerine ana kontrol noktaları denir. Bunların yanında, daha küçük yerleşme merkezleri, daha önce mevcut olan bir karayolu kavşağı, büyük bir sanayi veya turistik merkez, demiryolu, denizyolu ya da havayolu ulaşımı ile ilgili bir terminal, dağlık veya bataklık bir bölge ya da bir nehrin aşılması sırasında bulunabilecek en uygun geçiş yerleri de bazı hallerde ana kontrol noktası durumunda olabilirler.
- Güzergâh, kalkınmaya ve ekonomik gelişmeye en fazla katkıda bulunabilecek şekilde planlanmalıdır. Karayolları, sağladıkları ulaşım kolaylığı ve düşük ulaşım maliyetleri sayesinde yatırımları üzerine çekerler ve bu yönleriyle kalkınma ve ekonomik gelişmeyi teşvik edecek en önemli altyapılardır. Ancak bunu sağlayabilmek için dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Örneğin, yolların zaten gelişmiş ve yüksek kamulaştırma maliyetine sahip kent merkezlerinden geçirilmesi yerine, nispeten daha ucuz kamulaştırma maliyetine ve gelişme potansiyeline sahip yerlerden geçirilmesi tercih edilmelidir.
- Bölgesel planlara ve imar planlara uyulmaya çalışılmalıdır. Arazi kullanımına da dikkat edilmelidir. Yol, arazi kullanımının bir fonksiyonudur; fakat aynı zamanda özellikle ana yollar imar planının omurgasını oluşturmaktadır. Arazi kullanımı kentin yolları üzerindeki ulaşım talebini belirlerken, yeni bir ulaşım projesi de arazi kullanım yapısını etkilemektedir. Dolayısıyla, yol güzergâhları belirlenirken arazi kullanımı da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.
- Güzergâh, öngörülen yolun sınıfına ilişkin proje standartlarının kolaylıkla uygulanmasına olanak vermelidir. Bir yolun standartları yolun sınıfına bağlı olarak seçilir. Ancak, seçilen bu standartların makul sayılabilecek ekonomik sınırlar içinde kalmak suretiyle sağlanabilmesi, örneğin, yüksek standartlı bir yol için büyük yarıçaplı kurpların temini ve boyuna eğimin küçük tutulması büyük ölçüde başlangıçta yapılan güzergâh seçimindeki isabet derecesine bağlıdır. Bu seçim iyi yapılmışsa standartların sağlanması kolay ve ucuz olur. Aksi takdirde büyük harcamalar gerekebilir ki bu da mühendislik yönünden istenmeyen bir durumdur.
- Trafik güvenliğinin sağlanmasının kolay olacağı alanlar tercih edilmelidir. Yüksek düşey eğimlerden, sık, keskin ve kapalı yatay kurpların kullanılmasını

zorunlu kılacak çok engebeli arazilerden kaçınılmalıdır. Ayrıca, yoğun yaya trafiğine maruz kalacak şehir geçişlerine dikkat edilmelidir.

- Trafik miktarı ile cinsi hakkında yapılacak bir yanılma durumunda kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde iyileştirmeye olanak vermelidir. Özellikle, ileriki aşamada yapılacak genişletme çalışmalarında kolaylık sağlaması açısından kamulaştırma genişliğinin fazla tutulabileceği alanlar tercih edilmelidir.
- Güzergâh, yolun ana kullanım amacına uygun olmalıdır. Her yol ulaşım hizmet amacıyla inşa olunursa da ilk karar aşamasında öngörülen bir ana amaç vardır: Belli noktalar arasındaki ulaşımı ya da bir bölgenin sosyal ve ekonomik gelişimini hızlandırmak, bir turistik potansiyeli harekete geçirmek gibi. Buna göre, güzergâh araştırması sırasında bu temel amaçtan ayrılmamaya özen gösterilir. Ulaşım hızını arttırmayı öngören bir yolda ana kontrol noktalarını birbirine bağlayan doğrultudan sapmaların az tutulması normal olacağı gibi, turizm geliştirmeye amaçlı bir yolun da potansiyel turizm alanlarından geçirilmesi doğaldır. Aynı şekilde, sosyal ve ekonomik gelişmeyi amaçlayan bir yola ait güzergâhın, uzunluğun artması pahasına da olsa mümkün mertebe fazla nüfusun faydalanması bakımından çok sayıda yerleşim merkezinden geçmesi istenir.
- Güzergâh, jeolojik oluşum yönünden kararlı, daha az kalınlıkta üst yapı kullanmaya olanak verecek, taşıma gücü yüksek, sağlam zeminli yerlerden geçmelidir. Bu hususlar inşa maliyeti yanında yola ait sanat yapılarının ömrü, şev stabilitesi, yoldaki muhtemel oturmalar ve bakım masrafları açısından da önemlidir.
- Güzergâh, yer altı ve yüzey suyunu karşı doğal drenaj imkanı en iyi olan yerlerden geçirilmelidir. Örneğin, yağış halinde kolaylıkla su altında kalabilecek vadi tabanları yerine yamaçlardan gidilmesi tercih edilmelidir. Normalin üzerinde yer altı suyu veya yüzey suyu etkisinde kalan yollarda bozulma çabuk olur, ayrıca bakım masrafı büyük ölçüde artar.
- Su kirliliğine yol açacak güzergâhlardan kaçınılmalıdır. Özellikle içme suyu veya sulama suyu olarak kullanılan su kaynaklarının etkilenebileceği alanlardan kaçınılmalıdır.
- Kırsal yollarda tarım yönünden elverişli arazi kısımlarına en az zarar verilecek şekilde geçmeye özen gösterilmelidir. Trafikten kaynaklanacak ağır metal kirliliği

ve kazalar sonucu saçılacak maddelerin yaratacağı kirliliğin toprağa vereceği zararlar göz önünde tutulmalıdır.

- Yapı güvenliği dikkate alınmalıdır. Deprem, heyelan, sel, dalga gibi afetler açısından güvenli bölgeler tercih edilmelidir. Fay hatları, heyelana duyarlı alanlar, dere yatakları, deniz dolguları gibi yerlerden mümkün olduğunca kaçınmalı, mecbur kalınan durumlarda ise gerekli önlemler alınarak buralardan geçilmelidir.
- Kamulaştırma bedeli göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle kent içi ve yakınlarında arazi pahalı olduğu için buralarda yapılacak yollarda kamulaştırma bedeli toplam maliyet içinde önemli bir yer tutar. Bu itibarla boş ve nispeten ucuz yerlerden geçilmeye çalışılmalıdır.
- Yapım, işletim ve bakım masrafı az olacağı tahmin edilen güzergâhlar tercih olunmalıdır. Yolun hizmete açılmasından sonraki işletme maliyeti içinde bakım giderleri önemli bir yer tutar. Bu itibarla güzergâh araştırması sırasında bakım yönünden fazla zorluk çıkarmayacak yerlerden geçmeye çalışılmalıdır. Örneğin, dağlık bölgelerde kar toplamayan ve çığ tehlikesi olmayan yerlerden geçilmesi uygun olacağı gibi, bir tepenin aşılması sırasında daha fazla güneş gören, dolayısıyla buzlanma ve kar birikmesi daha zor olan güney ve batı yamaçlar tercih edilmelidir. Bu hususlar bakım masrafları yanında yolun güvenliği yani trafik kazaları bakımından da son derece önemlidir.
- Karayolu çevrenin topografyasına uymalıdır. Böylece hem estetik açıdan daha iyi bir yol elde edilir, hem de toprak işi az olur. Bunu sağlamanın en kolay yolu, geometrik standartları dikkate almaktır.
- Güzergâh geçirilirken, tarihi değeri olan yapı ve sit alanları göz önünde tutulmalıdır. Bu gibi alanlardan yolu geçirmekten kaçınmalı, ancak bu gibi yerlere daha iyi ulaşım sağlamak suretiyle insanların faydalanmasına olanak sağlanabileceği de göz önünde tutulmalıdır.
- Turistik bölgelerde, yol turizm gelişme bölgesinin dışında onun gelişmesine engel olmayacak şekilde geçirilmelidir. Karayolu kumsal ile sahil tesisleri arasından geçirilmemelidir. Ayrıca, iyi ulaşım imkanının turizmi geliştireceği de dikkate alınmalıdır.
- Diğer ulaşım sistemleriyle uyum gözetilmelidir. Karayolunun demiryolu ile kesişmesine özellikle dikkat edilmelidir. Ulaşım sistemleri arasında bağlantı ve transfer imkanlarını geliştirecek ve kombine taşımacılığı kolaylaştıracak

güzergâhlar tercih edilmelidir. Örneğin, demiryolu istasyonu veya limanlara ulaşımı kolaylaştıran güzergâhlar tercih edilmelidir.

- Hava kalitesi bozulmamaya çalışılmalıdır. Trafik kaynaklı hava kirliliğinden etkilenecek nüfusu minimumda tutabilmek amacıyla yoğun yerleşim bölgelerinden kaçınmaya çalışılmalı, sanayi veya yerleşim gibi sebeplerle hava kirliliği açısından zaten sorunlu olan bölgelerden de uzak durulmalıdır.
- Gürültü etkisi dikkate alınmalıdır. Gürültüden etkilenecek nüfusu minimumda tutabilmek amacıyla yoğun yerleşim bölgelerinden kaçınmaya çalışılmalı, gürültüyü artıracığı belli olan yüksek eğimli arazilerden de kaçınılmalıdır.
- Doğal çevreye zarar verilmemeye çalışılmalıdır. Hayvan ve bitkilere mümkün olan en az hasar verilmeye çalışılmalı, özellikle nesli tükenme tehlikesi olan ve endemik türlere dikkat edilmelidir.

Görüldüğü gibi, bir karayolu güzergâhı belirlenirken dikkate alınması gereken pek çok husus mevcuttur. Bu hususlardan hepsini birden sağlayan bir güzergâh bulunması çok zordur: hatta çoğu zaman bu hususlar arasında çatışma olur. Burada önemli olan, bu hususlardan en fazlasını, mümkün olan en fazla miktarda sağlayan seçeneğin bulunmasıdır. Çalışmanın “1.4. Çok Kriterli Karar Verme” bölümünde bu konu daha geniş olarak ele alınacaktır.

1.3. Güzergâh Belirlemede Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı

Optimum güzergâhın belirlenebilmesi; farklı disiplinlerin bir araya getirdiği, karmaşık yapıdaki, konuma dayalı grafik ve grafik olmayan verilerin toplanmasını, dijital ortamda depolanmasını, sunulmasını ve analiz edilmesini gerektirmektedir. Yoğun veri setlerinin analiz edilerek, sonuçların hızlı bir şekilde alınabilmesi günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile mümkün olabilmektedir (Yomralıoğlu, 2000).

1.3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri Hakkında Temel Bilgiler

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), İngilizce Geographical Information Systems (GIS) ifadesinin Türkçe'ye çevrilmiş hali olup, kullanıcıların çok farklı disiplinlerden olması

nedeniyle, bu kavram da değişik şekillerde tanımlanmaktadır. Genel bir tanım yapmak gerekirse, CBS; “konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir” (Yomralıoğlu, 2000). CBS teknolojileri son yıllarda hızlı bir gelişme göstermiş, günümüzün en önemli bilişim teknolojilerinden biri olarak ortaya çıkmıştır.

Temel bileşenleri donanım, yazılım, veri, insanlar ve yöntemler olan CBS’nin fonksiyonları şu şekilde özetlenebilir;

- sayısal veri entegrasyonu (görüntü verisi, bilgisayar destekli çizim verisi, tablosal veri, vd.),
- konumsal sorgulama (grafik, grafik olmayan), görüntüleme (çizelge, tablo, rapor),
- konumsal analizler (kesişme, birleştirme, adres bulma, tampon),
- karar verme analizleri (mantıksal işlem, istatistik, yöneylem, sınıflama),
- otomasyon-akıllı harita (harita, işlem, ölçü),
- manipülasyon (transfer, genelleme, veri ayıklama),
- model analizleri (yüzey analizi, simülasyon, network, yerleştirme)

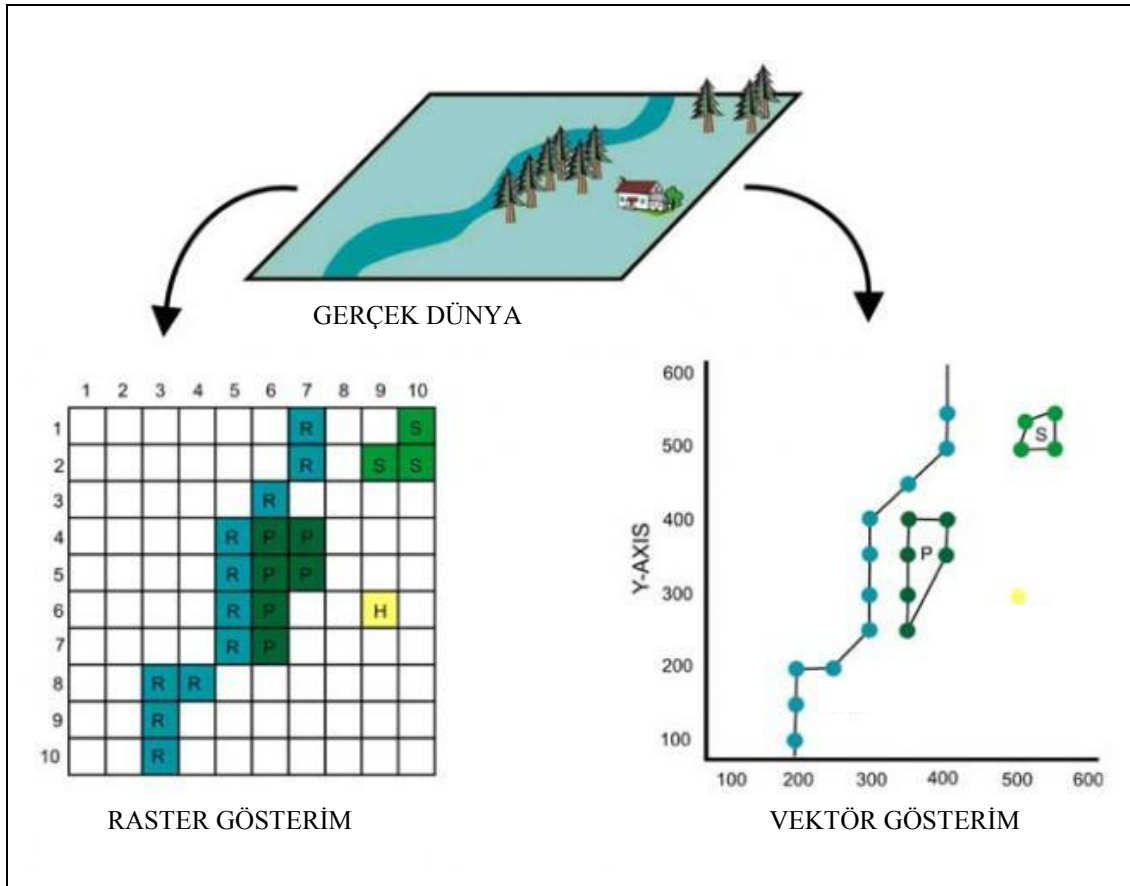
CBS, yeryüzüne ait bilgileri, coğrafik anlamda birbirleriyle ilişkilendirilmiş tematik harita katmanları gibi kabul ederek saklar. Katman, bir haritanın dijital formu olarak tanımlanır ve genelde tek bir temayı veya veri tabakasını (toprak, parsel, yol, vb.) esas alır. Bu yaklaşım, basit ancak konumsal bilgilerin değerlendirilmesi açısından son derece güçlü bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada, CBS konusunda yapılan temel tanımlarda, vs., Coğrafi Bilgi Sistemleri –Temel Kavramlar ve Uygulamalar (Yomralıoğlu, 2000) adlı kaynaktan oldukça faydalanılmıştır.

1.3.2. CBS’de Konumsal Veri Modelleri

Bütün CBS uygulamalarında olduğu gibi güzergâh tespiti çalışmalarında da en önemli bileşenlerden biri veridir. 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. Dijital formata dönüştürülen verilerin bilgisayarda gerçek modeli yansıtabilmesi için konumsal veri modellerinden biri tercih edilmeli ve veri yapısı buna

göre tasarlanmalıdır. Bu işleme veri modelleme adı verilir. CBS’de konumsal veri organizasyonlarında vektör ve raster modeller olmak üzere iki tür model kullanılmaktadır (Yomralıoğlu 2000). Her iki türün de bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar ve dezavantajlardan bazıları aşağıda vurgulanmaktadır. Ayrıca, gerçek dünyadaki bir durumun raster ve vektör gösterimlerinin nasıl olduğuna dair bir örnek Şekil 9.’da verilmiştir.



Şekil 9. Gerçek dünyadaki bir durumun raster ve vektör gösterimi (URL-3).

1.3.2.1. Vektör Veri Modeli

Vektör Veri Modeli; bilgisayarda kartografik gösterimde ve CBS çalışmalarında ilk olarak kullanılan modeldir. Harita üzerinden sayısallaştırma ile ya da doğrudan ölçme metodları kullanılarak kolayca elde edilebilir (Reis, 2003). En basit anlamda, gerçek dünyanın nokta, çizgi ve poligon özellikler kullanılarak gösterilmesidir. Noktalar tek bir

koordinat (x,y) ile temsil edilirken, çizgiler ve poligonlar sıralı koordinat serileriyle temsil edilirler.

Vektör veri modelleri, gerçek durumu veri yapısına doğrudan yansıtabildikleri için daha yüksek doğruluk avantajına sahiptir. Geniş hacimli veriler için etkin bir depolama sağlarlar. Vektör veri modellerinde ağ bağlantıları şeklindeki topolojik yapı açık ve anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmektedir. Coğrafi elemanların farklı topolojik formasyona sahip olması nedeniyle vektör veri modellerinde simülasyon işlemi zordur. Örneğin topografya gibi sürekli yapıların gösterilmesi vektör veri modelleri için uygun değildir. Poligon özelliğine sahip çok sayıdaki vektörel şeklin üst üste bindirilmesinde zorluklarla karşılaşılır (Yomralıoğlu, 2000).

1.3.2.2. Raster Veri Modeli

Raster (Hücreli) Veri Modeli; daha çok süreklilik özelliği gösteren coğrafi varlıkların ifadesinde kullanılır. Fotoğraf özelliğine sahip bir gösterim şekli olan raster veri modelinde herhangi bir görüntü bütünü piksel (hücre) 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. 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 (Yomralıoğlu, 2000).

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 (0 ile 255 arasında değişen) bir renk koduna sahiptir. Raster gösterimde, hassasiyet piksel boyutuna göre değişen ayırma veya çözünürlük gücü ile ölçülür. Piksellerin arazideki gerçek boyutuna yersel çözünürlük denilmektedir. Piksel boyutlarının büyütülmesiyle veri azalmasına karşın, gerçek görünüm bozulmakta ve önemli derecede bilgi kaybı söz konusu olmaktadır. Raster haritaların görünümü hassas çizilmiş haritalara nazaran çok daha kötüdür. (Yomralıoğlu, 2000).

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. Değişik şekillerdeki konumsal analizlerin gerçekleştirilmesi kolaydır. Geçmiş yıllarda raster veri modellerinin oluşturduğu bellek sorunu ve kurulumundaki yüksek maliyet gereksinimleri gelişen teknolojiler ile ortadan kaldırılmıştır (Yomralıoğlu, 2000).

1.3.3. Raster Tabanlı Ağ Analizi Yöntemi

Güzergâh tespiti problemi, CBS tabanlı ağ analizi yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir. CBS teknolojileri, ağ analizlerinde etkili bir araçtır. 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 karayolları gibi çizgisel mühendislik yapılarının güzergâhlarını belirlemeye yönelik yapılan ağ analizi uygulamaları, tanımlı herhangi bir yüzey içermediği için raster tabanlı olarak gerçekleştirilmek zorundadır (Baban vd., 2004).

Karayolu projeleri büyük alanlar kaplamaktadır ve büyük alanlara ait verilerin elde edilmesinde Uzaktan Algılama teknolojileri önemli faydalar sağlamaktadır. Uzaktan Algılama verisinin raster formatta elde edilebilmesi, yüzey üzerinde güzergâh tespitinin raster tabanlı olarak gerçekleştirilmesini daha da avantajlı hale getirmiştir. Yapılan çalışmalarda da genelde raster veri yapısı kullanılmaktadır. Aşağıda açıklanacağı gibi, raster tabanlı bir yazılım olarak bilinen IDRISI, güzergâh tespit işleminde kullanmaya oldukça uygundur.

1.3.4. IDRISI Yazılımının Tanıtılması

CBS'nin temel bileşenlerinden birisinin “yazılım” olduğu daha önce belirtilmişti. Piyasada pekçok CBS yazılımı vardır. IDRISI de bu yazılımlardan birisidir.

IDRISI bir kısaltma değildir: 1100-1166 (MS) yıllarında Akdeniz civarlarında yaşamış olan, tam adı “Muhammed bin Muhammed bin Abdullah bin İdris el-Hamûdî el-

Hasenî” olan, kısaca “Şerîf el-İdrisî” diye de bilinen müslüman bir coğrafyacının adından gelmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Massachusetts Eyaleti'nde yer alan Clark Üniversitesi Coğrafya Okulu bünyesindeki Clark Labs tarafından 1987 yılından beri geliştirilmekte olan IDRISI, oldukça güçlü bir coğrafi bilgi sistemleri ve görüntü işleme yazılımı sunmaktadır. Kullanıcılarının çok geniş bir çerçevede olduğu IDRISI, çevre ve yer bilimciler, yöneticiler, karar verme mekanizmalarında bulunan teknik personel, plancılar, harita mühendisleri, ekoloji, doğa ve ormancılık üzerine çalışmalar yapanlar, kalkınma araştırmacıları vb. farklı profilde birçok kullanıcı tarafından, üniversitelerde, özel sektörde, devlet kurumları ve askeri kurumlarda kullanılmaktadır (URL-4).

1.3.4.1. IDRISI’nin Yapısı ve İşleyişi

Sistemde coğrafi veriler harita katmanları şeklinde tanımlanmışlardır. Harita katmanları CBS’de görüntüleme ve analizin temel birimleridir. Harita katmanlarına örnek olarak yol katmanı, yükseklik katmanı, toprak cinsi katmanı, vb. verilebilir. Bütün analizler harita katmanları üzerinde yapılmaktadır. Haritalar bir veya birden fazla katmanın bir araya getirilmesiyle oluşturulurlar.

IDRISI, ana arayüz programı ve modüllerden oluşmaktadır. Ana pencere; menü, araç çubuğu ve durum çubuğunu içerir. IDRISI’ye özgü dosyaların yönetimi (kopyalama, yeniden adlandırma vb.) ve görüntülenmesi, IDRISI File Explorer’ın sunduğu arayüz sayesinde olur. Modüller, belirli bir işlemi gerçekleştiren bağımsız program elemanlarıdır. IDRISI ile bütün analitik özellikler standart olarak sağlanmaktadır. Araştırma kapasitesini arttırmak için yüksek maliyetli eklentiler satın almaya gerek yoktur. Sistemin kullanımı çok kolaydır. CBS analizleri, görüntü işleme, yüzey analizleri, değişim ve zaman serileri analizleri, modelleme, karar destek ve belirsizlik idaresi, risk yönetimi için 250’nin üzerinde modül sunulmaktadır (URL-4).

Program modüllerine 3 yolla ulaşılabilir:

1. Menu yapısında modülü seçip fare ile tıklayarak: Ana menü 9 bölümden oluşmaktadır; File, Display, GIS Analysis, Modeling, Image Processing, Reformat, Data Entry, Windows List ve Help.
2. Menünün hemen altında bulunan araç çubuğundaki simgelere tıklayarak,

3. Modül adını kısa yol aracında bulunan kutuya yazarak ya da buradakli alfabetik listeden seçerek.

Bu yöntemlerden her birisi, o modül için bir diyalog kutusunu aktive eder. Yapılacak işlem için gerekli bilgilerin girilmesi ve TAMAM düğmesine basmasından sonra modül çalışacaktır. Sık kullanılan ve bu çalışmada da kullanılan bazı modüller, yeri geldikçe açıklanmıştır.

Daha önce belirtildiği gibi, raster ve vektör sistemlerin değişik özellikler açısından üstünlükleri vardır. IDRISI hem raster hem de vektörel veriyi bir arada kullanabiliyorsa da, analizler temelde raster katmanlara göre düzenlenmiştir. Bunun sonucunda, genelde raster bir sistem olarak tanımlanır. Ayrıca, uzaktan algılama verileri için tam bir görüntü işleme sistemi sağlar. Bununla birlikte IDRISI, vektörel verinin görüntülenmesi, analizi, aktarılması, temel veri tabanı yönetim işlemlerinin yerine getirilmesi ve vektör-raster dönüşümleri için güçlü yeteneklere sahiptir: Database Workshop, veri tabanı sorgulamaları için kullanılabilirken, RASTERVECTOR modülü de vektör ve raster formatlar arasında dönüşüm yapar.

IDRISI, raster-vektör dönüşümleri yapabilmesinin yanında, sahip olduğu dönüşüm modülleri sayesinde pekçok farklı format dosyalarını (BMP, DXH, JPG, TIFF, vb) kullanabilir, diğer CBS yazılımlarıyla (ERDAS, GRASS, ER Mapper, Atlas, vb) ve bu arada da piyasada en yaygın olarak kullanılan ESRI ürünleriyle (ArcView, Arc/Info, vb.) kolaylıkla veri alışverişi yapabilir. Bu sayede, kendisi ana yazılım olarak kullanılabileceği gibi, diğer yazılımları raster işlemler ve karar verme işlemleri gibi konularda desteklemek için de kullanılabilir.

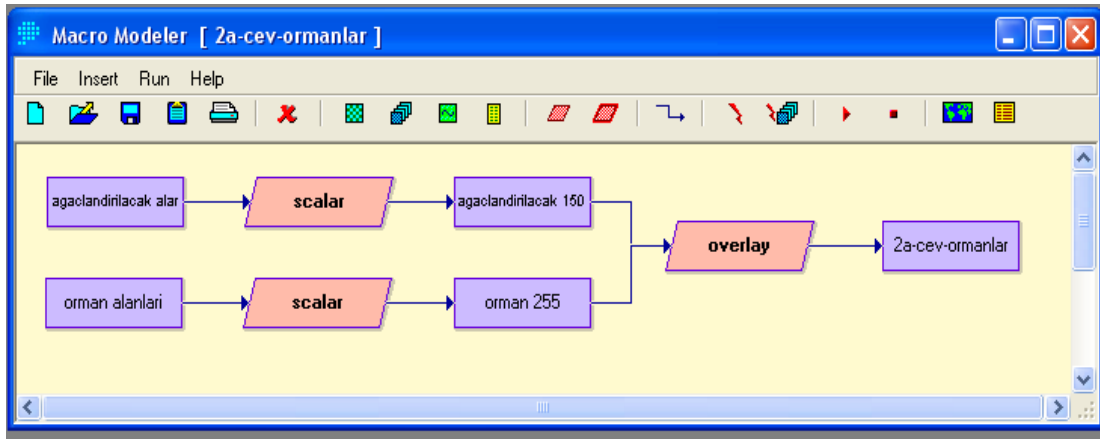
CBS'nin en önemli uygulamalarından birisi, karar destektir. IDRISI içerisindeki pek çok modül karar destek konusunda kullanılabilir; ancak karar destek alt menüsündeki modüller, çok amaçlı-çok kriterli kaynak tahsisi problemlerine yönelik olmaları ve karar vermedeki belirsizlik kavramını değerlendirmeye imkan vermeleri açısından eşsizdirler. IDRISI'nin karar destek konusunda sağladığı kolaylıklar bölüm 1.4.5'te daha ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

1.3.4.2. IDRISI Modelleme Araçları

CBS'nin en temel işlevlerinden birisi de model (uygunluk modelleri, erozyon modelleri, kentsel büyüme modelleri, vb.) geliştirmek, test etmek ve kullanmaktır. IDRISI,

model geliştirme konusunda geniş bir araç kümesi sağlar. Bunlardan en önemlisi Macro Modeler'dir.

“Macro Modeler”, çok adımlı analizleri oluşturup çalıştırmaya imkan veren bir grafik ortamdır. Raster ve vektör katmanlar ile özellik değer dosyaları (attribute values file) IDRISI modülleriyle birleştirilir ve çıktı dosyaları oluşturulur. Macro Modeler'in en önemli özelliklerinden birisi, oluşturulan modellerin kaydedilebilmeleri, daha sonra değiştirilebilmeleri ve tekrar kullanılabilmesidir. Oluşturulacak modellerde kullanmak için alt modeller (submodel) oluşturmak da mümkündür. Bu alt modeller de sanki bir modül gibi, gerekli veriler girilerek kullanılabilir. Şekil 10.'da Macro Modeler'e ait bir örnek ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 10. Macro Modeler'a ait bir ekran görüntüsü

Macro Modeler içerisinde, aynı işlemleri aynı anda birden çok katmana uygulamaya imkân veren Dyna Groups ve aynı modeli tekrarlı şekilde kullanmaya imkân veren DynaLinks gibi işlemler de mevcuttur. Bu işlemler Macro Modeler'in modelleme yeteneği açısından çok önemlidir.

Model geliştirme araçlarından bir diğeri olan “Image Calculator”, hesap makinesi mantığıyla çalışarak raster görüntülerin ve sabitlerin yer aldığı matematiksel ve mantıksal eşitlikleri hızlı şekilde gerçekleştiren bir araçtır. Burada oluşturulan eşitlikler de kaydedilebilir, daha sonra değiştirilebilir ve çalıştırılabilir.

“Komut Satırı Macroları”, önceki versiyonlarla uyumu sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Bir komut satırı makrosu, çalıştırılacak komutlar dizisi için modül isimlerini ve değişkenlerini içeren bir ASCII dosyasıdır. Her modül için makro komut

biçimleri konusunda on-line yardım sisteminde açıklamalar mevcuttur. Bunlar Edit modülü yardımıyla “.iml” (IDRISI Macro Language) uzantılı ASCII dosyasının oluşturulmasında kullanılabilir. Ancak, bazı modüllerin makro komut versiyonu yoktur.

IDRISI'nin çalışmasını kontrol etmek için makro dili olarak Delphi, Visual C++, Visual Basic ya da VBA gibi “yüksek seviye diller” kullanılabilir. Böylece karışık modeller oluşturulabilir, başkalarına dağıtılacak klasik uygulamalar oluşturulabilir ya da arayüzler oluşturulabilir.

1.4. Karar Verme

Karar verme; zihinsel süreçlerin sonucunda, çeşitli alternatifler arasından birisinin seçilmesi sürecidir (Reason, 1990). Karmaşık karar problemlerinin analizi için kullanılan sistematik işlemler toplamıdır. Bu işlemler, karar problemlerini daha anlaşılabilir daha küçük parçalara bölmeyi, her bir parçayı analiz etmeyi ve bu parçaları anlamlı bir çözüm üretebilmek için mantıksal bir çerçevede bir araya getirmeyi kapsamaktadır. Malczewski'ye (1999) göre karar verme, aşağıdaki adımlardan oluşan ardışık bir süreçtir:

- Karar probleminin (amacın) tanımlanması
- Kullanılacak değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi
- Kriterlerin ağırlıklandırılması
- Alternatiflerin oluşturulması
- Karar kurallarının uygulanması
- Probleme en uygun çözümün önerilmesi

1.4.1. Ulaştırma Konularında Karar Verme

Ulaştırma projeleri oldukça pahalı yatırımlardır. Kaynakların belli bir alanda kullanılması başka alanlarda yapılacak yatırımlardan vazgeçmek anlamına geleceği için, yatırım projeleri arasında seçme ve sıralama yapmak, kıt kaynakları en verimli şekilde kullanmak için bir zorunluluk olmaktadır. Dolayısıyla, ulaştırma projelerinin ve bu arada karayolu projelerinin yapımına karar verirken ve alternatif projeler arasından seçim yaparken oldukça dikkatli davranmak gerekmektedir.

Ulaştırma ile ilgili karar verme durumlarında bugüne kadar yaygın olarak F/M Analizi yöntemi kullanılmaktaydı. F/M analizi, alternatif yatırım projelerinin karşılaştırılmasında kullanılan bir analiz yöntemidir. Bir proje değerlendirme yöntemi olarak F/M analizi, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlaması beklenen gelirlerin, projenin gerektirdiği yatırım harcamaları ile karşılaştırılmasını içermektedir. Daha açık bir ifade ile, yatırımın ekonomik ömrü süresince beklenen gelirler, belirli bir “iskonto oranı” yardımıyla yatırımın başlangıç dönemindeki değerine indirgenmekte ve bu değer yapılan yatırım harcaması ile mukayese edilmektedir. Alternatif projeler arasında bir seçim yaparken, projeler herbiri için hesaplanan F/M oranının büyüklüğüne göre sıralanır ve bu oran en yüksek olduğu proje (ya da projeler) seçilir (URL-5).

Bugüne kadar kullanılmış ve bir ölçüde başarılı sonuçlar vermiş olsa da, soyut etkenleri ve stratejik konuları ele almadaki yetersizlikleri F/M analizini zaafa uğratmaktadır (Shang vd. 2004). F/M Analizi yönteminde gözlenen bazı darboğazlar şu şekilde özetlenebilir (Özkan, 2000):

- Faydaların parasal bazda ölçülmesinde güçlük çekilen sağlık, eğitim, savunma gibi sektörlerde önerilmemektedir.
- Tek ölçüt (para) kullanımı ile tüm kriterlerin değerlendirilmeye alınması mümkün olmamaktadır.
- Parasal bazda ifade edilemeyen bazı parametreler ya gerçekçi olmayan bir şekilde değerlendirilmekte, ya da değerlendirmeye alınmamaktadır.
- Doğru iskonto oranını belirlemek çok önemlidir ancak uzun dönemler için bunu başarmak oldukça zordur.
- Kaza maliyeti değerlerini belirlemek çok zordur.
- Çevre, konfor, zaman kazancı, turistik etkiler, bölgesel kalkınma etkisi gibi etkiler sağlıklı şekilde dikkate alınmamaktadır.

1.4.2. Çok Kriterli Karar Verme

Birden fazla kriterin bulunması ve bu kriterlerin birbiriyle çelişmesi, karar vermeyi oldukça güçleştiren bir unsurdur. Bu tür karar verme durumları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), yapılan değerlendirme ise Çok Kriterli Değerlendirme olarak adlandırılır (Huizingh ve Vrolijk, 1997).

Daha önce belirtildiği gibi, karayolu güzergâh belirleme sürecinde pek çok kriterin bir arada kullanılması gereklidir. Dolayısıyla, süreçte ÇKD yapılması daha doğrudur. F/M Analizi Yöntemi'nde olduğu gibi, ÇKD yöntemi de, bir projeden çıkan bütün avantaj ve dezavantajları hesaba katmayı amaçlar. Bununla birlikte bu etkiler parasallaştırılarak ifade edilmek yerine, onları ölçmeye en uygun gözüken birimlerle ifade edilirler. Bu, F/M Analizi ile ÇKD arasındaki temel fark olarak gözükmektedir (EURET, 1996). ÇKD, karar verme sürecindeki niceliksel ve niteliksel bilgileri birleştirme yeteneğine sahiptir (Bilgiç, 2002).

1.4.2.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

ÇKKV'yi ele almak için bir kaç sınıflandırma önerilmiştir. ÇKKV teknikleri, Çoklu Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) ve Çoklu Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) olarak 2 genel sınıfa ayrılabilir: ÇNKV yöntemleri, sınırlı sayıda alternatif listesi içerisinde seçim yapmak için uygunken, ÇAKV yöntemleri sürekli çözüm uzayındaki çok sayıda (sonsuz) alternatif arasından belirli kısıtlara dayalı olarak seçim yapılması gereken durumlar için uygundur (Hwang ve Masud, 1981, Malczewski, 1997). Başka bir deyişle, ÇNKV seçim problemlerine odaklanırken, ÇAKV tasarım problemlerine odaklanır (Malczewski, 1997).

ÇKKV teknikleri, telafi edici (compensatory) yöntemler ve telafi etmeyen (non-compensatory) yöntemler olarak da ikiye ayrılabilir (Minch ve Sanders, 1986; Hong ve Vogel, 1991). Telafi edici yöntemlerde, ilgili bütün bilgiyi birleştirerek toptan bir değerlendirme yapma, bazı değerlendirme kriterlerindeki yüksek değerlerin diğerlerindeki düşük değerleri telafi edebilmesi vardır. Ulaştırma ile ilgili seçim problemlerinin çoğunda telafi edici yöntemler kullanılır (Avineri vd, 2000). Ağırlıklı Ekleme Modelleri (örneğin ADB) ve AHY telafi edici yöntemlere örnek olarak verilebilir (Malczewski, 1997).

ÇKKV, çeşitli kaynaklarda “tekil karar verme-grup karar vermesi”, “belirli durumda karar verme-belirsizlik altında karar verme” gibi çeşitli şekillerde de sınıflandırılabilmektedir.

1.4.3. Çok Kriterli Değerlendirme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

Eğer karar verme sürecinde kullanılan bilgi coğrafi bir veriden türetiliyorsa, süreç bir konumsal karar verme sürecidir. Karar vericilerin kullandığı verilerin yaklaşık % 80'inin coğrafi veri olduğu tahmin edilmektedir (Malczewski, 1999).

Coğrafi veri söz konusu olduğunda vaz geçilmez bir araç olan CBS'nin en önemli kullanım amaçlarından birisi de karar verme konusunda yardımcı olmasıdır. Son yıllarda bölgesel planlama, doğal kaynakların yönetimi, kentsel planlamalar ve altyapı yönetimi gibi çeşitli alanlardaki karar verme konularında CBS uygulamaları yaygınlaşmaktadır (Dane ve Tecim, 2007). Bunlardan başka; çeşitli hizmetler için yer seçimi (rekreasyon alanları, tehlikeli atık depolama alanları, vb.) ve altyapı güzergâh tespitleri (güç iletim hatları, su boru hatları, yollar, vb.) konularında da CBS kullanılabilmektedir (Jankowski and Richard 1994; Dane ve Tecim, 2007).

CBS'nin karar verme konularında giderek artan biçimde kullanılmasının sebebi, konumsal bilginin işlenmesi ve analiz edilmesi konusunda sunduğu güçlü imkanlardır:

- Konumsal bilgiler ve öznelilik bilgilerini birleştirebilir.
- Verilerin görüntülenmesi konusunda sağladığı imkanlar sayesinde çözümlerin etkin şekilde irdelenebilmesini mümkün kılar.
- Çözümlerin interaktif olarak geliştirilmesine imkan verir.
- Konumsal sorgulama ve analitik yetenekleri sayesinde alan, mesafe ölçümü ve karşılaştırma işlemlerini kolaylaştırır.

Bütün bu yeteneklerine rağmen CBS, çatışan kriter ve amaçların değerlendirmesini tek başına yapamaz. Bunun için en önemli yöntem ÇKD'dir. ÇKD yöntemlerini CBS ile birlikte kullanmak mümkündür (Malczewski 2006). CBS tabanlı ÇKD olarak adlandırabileceğimiz bu yöntem, “karar alternatiflerinin bütüncül değerlendirmesini yapmak için coğrafi veriler (kriter haritaları) ile değer yargılarını (karar vericilerin tercihleri ve belirsizlikler) birleştiren ve dönüştüren bir süreç” şeklinde tanımlanabilir (Malczewski, 1999; Malczewski 2006; Borovshaki ve Malczewski, 2008)

Malczewski'nin (1999) “GIS and Multi Criteria Decision Analyses” adlı kitabı, karar verme süreci ve kullanılabilecek yöntemler konusunda detaylı bilgiler içermektedir. Gerek bu kitap, gerekse başka kaynaklar kullanılarak ve bölümün başında sunulan “karar verme

adımları”ndan esinlenerek CBS tabanlı ÇKD yönteminin ana adımları, şu şekilde özetlenebilir:

1.4.3.1. Amacın Ortaya Konması

Amaç, başarılması istenen asıl hedeftir. Herhangi bir karar verme süreci amacın tanımlanmasıyla başlar. Örneğin amaç; “verilen başlangıç ve bitiş noktaları arasında, belirtilen özelliklere sahip bir karayolu için ekonomik, mühendislik açısından sorunsuz, çevreye zararları en az olan, olumsuz sosyal etkileri en az olan, trafik tekniğine uygun, arazi kullanımının açısından en olumlu olan güzergâhın tespit edilmesi/seçilmesi” olarak tanımlanabilir.

1.4.3.2. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Kriter, ölçülebilen ve değerlendirilebilen tanımlayıcı değişkendir (Eastman vd., 1995). Kriterler kendileriyle ilgili coğrafi özelliklerle ilişkilendirilir ve böylece harita şeklinde temsil edilebilirler. Kriter kümesi belirlendikten sonra her bir kriter bir harita katmanı ile temsil edilmelidir. Bu katmanlara kriter haritası denir. 2 çeşit kriter vardır: kısıtlar ve faktörler.

Kısıtlar, bulunup bulunmaması sonuç üzerinde mutlak etkili olan kriterlerdir. Bunlar, bir gelişim alanının sınırları veya çok yüksek olan eğimler olabilir. Kısıtlar, değerlendirme dışı alanlara 0 ve diğer alanlara 1 değeri verilerek hazırlanmış Boolean haritalar şeklinde ifade edilirler.

Faktörler, değerlendirilen yerin amaç için uygunluğunu veya maliyetini sahip olduğu değere göre etkileyen kriterlerdir. Genel olarak sürekli değerlerle temsil edilirler.

1.4.3.3. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Her kriter belirlenen amaca ulaşma bağlamında eşit öneme sahip olmayabilir. Bunun için kriterler önemlerine göre ağırlıklandırılmalıdır. Bunun için çeşitli yöntemler (sıralama, puanlama, ikili karşılaştırma, ödünleşme) mevcuttur.

Derecelendirme Yöntemi; ağırlık tayininde kullanılan en basit yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntemde, dikkate alınan her bir kriter karar vericinin öngörülerine göre bir önem sırasında derecelendirilir. Basitliğinden dolayı bu yöntem çok çekici görünmektedir. Bununla birlikte, çok sayıda değerlendirme kriteri kullanıldığında yöntem daha az uygunluk göstermektedir. Yöntemin bir diğer dezavantajı ise teorik bir temeli olmamasıdır (Akgün, 2007).

Puanlama Yöntemi; karar vericinin daha önceden belirlenmiş bir ölçeğe dayalı olarak ağırlıkları tahmin etmesini gerektirmektedir. 100 puanın kriterlere paylaştırılmasına dayanan “Puan atama (point allocation)” yaklaşımı (burada 0 değeri, kriterin ihmal edilebileceğini, 100 değeri ise dikkate alınması gereken sadece bir kriter ihtiyacı olduğu durumunu göstermektedir) ya da en önemli kriter 100 puan atanarak diğer kriterlere de göreceli daha düşük puanlar atanmasına dayanan “oran tahmini” yaklaşımı örnek olarak verilebilir. Bu yöntemin de dezavantajı, derecelendirme yönteminde olduğu gibi teorik bir temelden yoksun olmasıdır. Ayrıca, atanan ağırlıkların doğruluğunu kanıtlamak zor olabilmektedir (Akgün, 2007).

İkili Karşılaştırma Yöntemi (Analitik Hiyerarşi Yöntemi; AHY); bir oran matrisi oluşturmak için ikili karşılaştırmaları kullanmaktadır (Malczewski, 1999; Eastman, 2003). Yöntem, girdi veri olarak ikili karşılaştırmaları alır ve çıktı olarak kriterlerin ağırlıklarını üretir (Akgün, 2007). Yöntem, her seferinde sadece iki bileşeni ele aldığı için karar vermenin kavramsal karmaşıklığını büyük ölçüde azaltmaktadır (Djenaliev, 2007)

AHY sadece kriter ağırlıklarını belirlemede kullanılan bir yöntem değildir, aynı zamanda çok kriterli değerlendirmeyi hiyerarşik bir yapıda düzenleyen eklemeli bir karar kuralıdır. AHY ile ilgili geniş bilgi, “1.4.4. AHY” bölümünde sunulmaktadır.

Trade-off (Ödün verme) Analizi Yöntemi’nde; bir kabul söz konusu olup, ödün veren karar verici, diğer kriter seviyelerine bağlı olmayan herhangi iki kriter arasında seçim yapmaya gönüllüdür (Malczewski, 1999). Bu yöntemin zayıf yönü, karar vericinin aksiyomlara bağlı kaldığının ve kararlar arasında ince ayrımlar yapabilen olmasının varsayılmasıdır (Kirkwood, 1997).

1.4.3.4. Karar Kurallarının Uygulanması

Karar kuralı, bir karar probleminde alternatiflerin sırasını ya da hangi alternatifin seçileceğini belirleyen yöntemdir. Başka bir deyişle karar kuralları, değerlendirme sırasında kriterlerin nasıl birleştirileceğini belirleyen kurallardır.

CBS kapsamında ÇKD için iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar “Boolean” ve “Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme” (ADB) yöntemleridir (Eastman vd., 1993).

1.4.3.4.1. Boolean Yaklaşımı

Bu yöntemde tüm kriterler (kısıtlar ve faktörler) uygunluk durumlarına göre 0 ya da 1 değerleriyle standardize edilirler. Bu standardizasyonda her kriter için uygunluğu tanımlayan keskin bir eşik değere karar vermek gerekmektedir. Birleştirme kuralı olarak kesişim (VE) ya da birleşim (VEYA) kullanılır. VE bağlacı kullanıldığında, sadece bütün kriterlerden 1 değeri alan yerler 1 değerine sahip olmakta, kriterlerden en az bir tanesinden 0 değeri alan yerler ise 0 değeri almaktadır. Diğer taraftan, VEYA bağlacı kullanıldığında, kriterlerin en az bir tanesinden 1 değeri alan yerler 1 değerine sahip olmakta, sadece bütün kriterlerden 0 değeri alan yerler 0 değerine sahip olmaktadır (Jiang ve Eastman, 2000).

1.4.3.4.2. Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) Yaklaşımı

Bu yaklaşım, çoklu özellikli karar kurallarından en yaygın kullanılanıdır. Bu yöntemde kriterlere, göreceli önemini belirleyen ağırlıklar verilir. Bu ağırlıkların ne şekilde belirlenebileceği daha önce (1.4.3.3. Kriterlerin Ağırlıklandırılması bölümünde) anlatılmıştı. Daha sonra, ağırlıklar ile standardize edilmiş kriter haritalarının çarpımları toplanarak sürekli bir amaca uygunluk ya da maliyet haritası elde edilir. Bu yaklaşım, telafici edici bir yaklaşımdır; yani, bir kriterdeki düşük bir uygunluk değeri, bir başka kriterdeki yüksek uygunluk değeri tarafından telafi edilebilmektedir (Jiang ve Eastman, 2000).

Bu yöntem CBS araçlarıyla birleştirmeye de oldukça uygundur. Her bir kriter bir CBS katmanı olarak ifade edilir ve daha sonra bu katmanlar çakıştırılır. Hem vektörel hem

de hücresel verilerle uygulanabilir (Kaya, 2006). Burada dikkat edilmesi gereken nokta, her biri farklı birimlere sahip olan kriter katmanlarının çakıştırılmadan önce ortak bir ölçeğe çevrilmiş, yani standardize edilmiş olmaları gerekliliğidir. Standardizasyon konusu “2.2. Kriter Haritalarının Hazırlanması ve Standardizasyonu” bölümünde açıklanmıştır.

1.4.3.5. Duyarlılık Analizi

Kriterler ağırlıklandırdıktan veya puanladıktan sonra hata analizi yapmak gereklidir. Lowry vd. (1995), CBS tabanlı duyarlılık analizi konusunda bir örnek içermektedir.

1.4.4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)

1970’lerde Thomas Saaty tarafından geliştirilen AHY, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli, çok amaçlı karar verme durumlarında kullanılır. AHY rasyonel ve irrasyonel tercihleri ve sezgileri de karar verme sürecinin içine katabilmek için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır (Harker ve Vargas, 1987). AHY; gruplara ve bireylere, karar verme sürecindeki nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntem bilimdir (Saaty, 1989; Saaty, 1996).

AHY, CBS ortamında iki farklı şekilde kullanılabilir. Birincisi; AHY kriter haritalarının ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılabilir. Bu çalışmadaki kullanım şekli budur. Daha sonra belirlenen bu ağırlıklarla kriter haritaları beraber kullanılarak ADB yöntemine benzer şekilde uygunluk haritası oluşturulur. Bu yaklaşım, özellikle alternatiflerin çok fazla sayıda olması sebebiyle ikili karşılaştırma yöntemiyle karşılaştırma yapmanın imkansız olduğu durumlarda çok kullanışlıdır (Borovshaki ve Malczewski, 2008; Eastman vd., 1993).

İkinci kullanım şekli, sınırlı sayıda alternatifin değerlendirilmesinin söz konusu olduğu durumlarda, alternatifleri içeren seviye de dahil olmak üzere hiyerarşinin her seviyesinin önceliğinin AHY ile belirlenmesidir (Jankowski ve Richard 1994; Borovshaki ve Malczewski, 2008).

AHY 4 aşamadan oluşur:

1.Aşama: Problemi tanımlayan bir hiyerarşi kurulur.

2.Aşama: İkili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur.

3.Aşama: İkili karşılaştırma matrisleri kullanılarak ağırlıklar belirlenir.

4.Aşama: Tutarlılık oranı kontrol edilir.

1.4.4.1. Hiyerarşinin Kurulması

Bilişsel psikoloji alanında yapılan deneysel çalışmalar, insanların bilişsel yeteneklerinin yüksek miktarda bilgi karşısında zayıf düştüğünü göstermiştir (Bronslow ve Watson, 1987). Bu konuda Miller (1956; Bronslow ve Watson, 1987; Forman, 1990), "Sihirli yedi artı eksi iki rakamı: Bilgi işleme kapasitemiz üzerindeki sınırlar" isimli ünlü makalesinde, aynı anda uğraşılacak, beyin tarafından farkı gözetilebilecek ve kısa dönem hafızada işlenebilecek öğe sayısının üst sınırının 7 olduğunu, bunun bazı kişilerde 5'e düşerken en fazla 9'a çıkabileceğini belirtmiştir. Bu yüzden insanlar karmaşık sorunlarla karşılaştıklarında sorunu daha iyi anlayabilmek için sorunu bileşenlerine ayırmalı ve bu bileşenleri hiyerarşik bir şekilde düzenlemelidirler.

AHY her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır. Kararları bu yapıda kurarak; birçok veri türü bir araya getirilebilir ve farklı gözükten nesneler arasında karşılaştırma yapılabilir.

1.4.4.2. İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması

Sorun hiyerarşik bir modele oturtulduktan sonra, hiyerarşiyi oluşturan öğelerin göreceli (izafi) üstünlükleri hesaplanır. Karar verici, bir düzeydeki öğelerin, hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan öğeler açısından göreceli önemlerini saptayacak şekilde bir puanlama yapar ve ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. Bu matriste i (sıra) elemanının j (sütun) elemanına göre ne kadar önemli olduğunu gösteren değerler yer alır. Bu değerler, 1-9 arasındaki tek sayılardan oluşan önem skalası değerleridir (Tablo 2.). Önem skalasında yer almayan 2, 4, 6, 8 gibi değerler ara değerlerdir. Diğer bir ifade ile eğer karar verici 1 ve 3 arasında kararsız kalırsa 2 değerini kullanabilir. Şunu da belirtmekte yarar vardır ki, karar verici şayet a_{ij} hücresine önem değeri olarak 3 değerini veriyorsa a_{ji} nin hücre değeri $1/3$ olacaktır. Ayrıca bu matriste köşegen değerler bire eşittir.

Tablo 2. AHY Değerlendirme Ölçeği (Saaty, 1989).

Sayısal değer	Tanım
1	Öğeler <u>eşit</u> önemde veya aralarında kayıtsız kalınıyor
3	1. öğe 2.'ye göre <u>biraz</u> daha önemli veya biraz daha tercih ediliyor
5	1. öğe 2.'ye göre <u>fazla</u> önemli veya fazla tercih ediliyor
7	1. öğe 2.'ye göre <u>çok fazla</u> önemli veya çok fazla tercih ediliyor
9	1. öğe 2.'ye göre <u>aşırı</u> derecede önemli veya aşırı derecede tercih ediliyor
2,4,6,8	Ara değerler

Çalışmanın 2. bölümünde, yapılan uygulama açıklanırken, oluşturulan hiyerarşi şemaları, ikili karşılaştırma matrisleri ve bunlara dayalı olarak hesaplanan ağırlıklar verilmiştir. Aynı tablolarda hesaplanan Tutarlılık Oranları (TO) da verilmiştir.

1.4.4.3. İkili Karşılaştırma Matrisleri Kullanılarak Ağırlıkların Belirlenmesi

İkili karşılaştırma matrisleri kullanılarak göreceli önemlerin belirlenmesi için gerekli matematiksel hesaplar, aslında ikili karşılaştırmalar matrislerinin en büyük özvektörünün bulunmasından ibarettir. Matrisin özvektörünü hesaplamak için, her sütundaki elemanları normalize edip, oluşan normalize matrisin her satırındaki elemanların ortalaması bulunur. Prosedür 3 adımda özetlenebilir:

Adım 1: İkili karşılaştırmalar matrisinin her bir sütunundaki değerler toplanır.

Adım 2: İkili karşılaştırmalar matrisindeki her bir eleman, bulunduğu sütunun toplam değerine bölünür. Bu işlem sonucunda elde edilen matrise *normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi* denir.

Adım 3: Normalize edilmiş ikili karşılaştırmalar matrisinin her bir satırındaki elemanların aritmetik ortalaması hesap edilir. Bu aritmetik ortalama değerleri, karşılaştırılan elemanların göreceli öncelikleri, yani ağırlıkları ile ilgili bir tahmin sağlar.

Sonuçta, her öğenin bir üst düzey öğeye göre ağırlığı, söz konusu üst düzey öğenin bir üst düzey açısından ağırlığı, vs.'nin çarpılması ve bu işlemin en üst düzey olan amaç düzeyine kadar sürdürülmesi sonucu; hiyerarşinin en alt düzeyinde yer alan kriterlerin toplam ağırlıkları bulunabilir.

1.4.4.4. Tutarlılığın Test Edilmesi

AHY, düşünce ve yargıda tutarlılığı göz önünde bulundurmaya gerektirir fakat tercihler arasında tutarlılık bir ölçüde ihlal edilebilir:

- Öğelerin ikili karşılaştırmaları sırasında geçişgenlik olmayabilir. Örneğin herhangi bir kritere göre, karar verici, a_i seçeneğini a_j seçeneğine ve a_j seçeneğini ise a_k seçeneğine tercih ederken a_k 'yı de a_i 'ye tercih edebilir.
- Tercihlerin yoğunluklarına ilişkin sayısal bir tutarsızlık olabilir. Örneğin a_i , a_j 'ye üç kez daha fazla ve a_j , a_k 'ye iki kez daha fazla tercih ediliyor iken a_i , a_k 'ye göre altı kez daha fazla tercih edilmeyebilir.

Dolayısıyla, karar vericinin son kararın niteliği açısından ikili karşılaştırmalarda vermiş olduğu hükümlerin tutarlılığını kontrol etmesi gereklidir. AHY, bir tutarlılık oranı hesaplamak suretiyle ikili karşılaştırma hükümlerinin tutarlılığını ölçer. Bu oranın 0,10 değerini aşması halinde ikili karşılaştırma hükümlerinin tutarsızlığı söz konusu olur ve böyle bir durumda karar vericinin ikili karşılaştırmalar matrisindeki değerleri düzeltmesi gereklidir. 0,10 ya da daha az tutarlılık oranı değerleri ise ikili karşılaştırmalardaki tutarlılık düzeyinin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir.

1.4.5. IDRISI'de Karar Verme

Yukarıda belirtildiği gibi, CBS'nin en önemli uygulama alanlarından birisi de karar destek sistemleridir. IDRISI içerisindeki pek çok modül karar destek konusunda kullanılabilir. Ancak karar destek alt menüsündeki modüller, çok amaçlı, çok kriterli kaynak tahsisi problemlerine yönelik olmaları ve karar vermedeki belirsizlik kavramını değerlendirmeye imkan vermeleri açılarından eşsizdirler (URL-4).

1.4.5.1. Karar Destek Alt Menüsü (*The Decision Support Submenu*)

IDRISI içerisinde bulunan “GIS Analysis” menüsünün alt menülerinden birisi “Decision Support”dur. Bu altmenüde karar vermeye ilgili pek çok modülle birlikte bir de “Karar Sihirbazı” (Decision Wizard) bulunmaktadır.

Decision Wizard, tek ya da çok amaçlı ÇKD problemlerinin ele alınmasında adım adım ilerleyen bir yapı sağlar. Sihirbazda yapılan işlemler sırasıyla şöyledir: Amaçların girilmesi, kriterlerin (kısıt ve faktörler) girilmesi, faktörlerin ağırlıklarının hesaplanması için ikili karşılaştırmalar matrislerinin oluşturulması, faktörlerin standardizasyonunun yapılması, kriter haritalarının birleştirilmesi için karar kurallarının uygulanması. Sihirbaz; MCE, WEIGHT, RANK, MOLA ve FUZZY gibi modüllerin kullanımını sağlamaktadır. Bu modüller hakkında kısa açıklamalar aşağıda sunulmaktadır.

WEIGHT, ÇKD’de kullanılacak olan kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılmasıyla bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmasına imkan veren ve oluşan matrisi kullanarak kriterlerin ağırlıklarını belirleyen bir modüldür. Burada hesaplanan kriter ağırlıklarının toplamı 1’dir. Bulunan ağırlıklar MCE (Multi Criteria Evaluation) modülünde kullanılır. Bu modül çalışmanın 2. bölümünde detaylı olarak açıklanmaktadır.

MCE, faktör haritalarına Boolean analizi, WLC (ADB) veya OWA yöntemlerinden birisini uygulayarak birleşmiş bir harita oluşturur. WLC’de her bir faktör haritası, kendisine ait ağırlıkla çarpılır ve sonuçlar toplanır. OWA’da standardize edilmiş faktör haritaları kullanılır ve WLC’nin genelleştirilmiş bir hali gerçekleştirilir. Her iki durumda da Boolean kısıt haritaları sonuç haritasını sınırlandırmak için kullanılabilir. Bu modül çalışmanın 2. bölümünde detaylı olarak açıklanmaktadır.

MOLA, çok amaçlı arazi tahsisi programıdır.

FUZZY, veri hücrelerinin bulanık küme üyelik değerlerini 3 üyelik fonksiyonuna göre hesaplar: Sigmoidal, J-şekilli ve Doğrusal. Dördüncü bir fonksiyon da kullanıcı tanımlı fonksiyondur. Monoton artan, monoton azalan, simetrik ve asimetric türler mevcuttur. FUZZY, bir haritadaki sınıf üyelikleri arasında geçişleri modeller ve MCE’de kullanılacak faktör haritalarının standardize edilmesinde kullanılır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

2.1. Önerilen Model: 3 Aşamalı Karayolu Güzergâh Tespit Modeli

Daha önce de belirtildiği gibi, yapılan çalışma, KGM prosedüründe “Planlama Çalışmaları”ndan hemen sonra başlayan “Etüt ve Proje Çalışmaları” kapsamında, “Yol Sınıfının Tespiti”nden sonraki ilk aşama olan “Ön Etüt (İstikşaf)” çalışmalarına yöneliktir. Karayolu güzergâhının belirlendiği aşama olan bu aşamada yaşanan sıkıntılar ve yeni bir modele gereksinim duyulduğu 1. bölümde ifade edilmişti. Bu bağlamda, karayolu güzergâh belirleme sürecinde ÇKD yapmaya imkan veren CBS tabanlı bir model önerilmektedir.

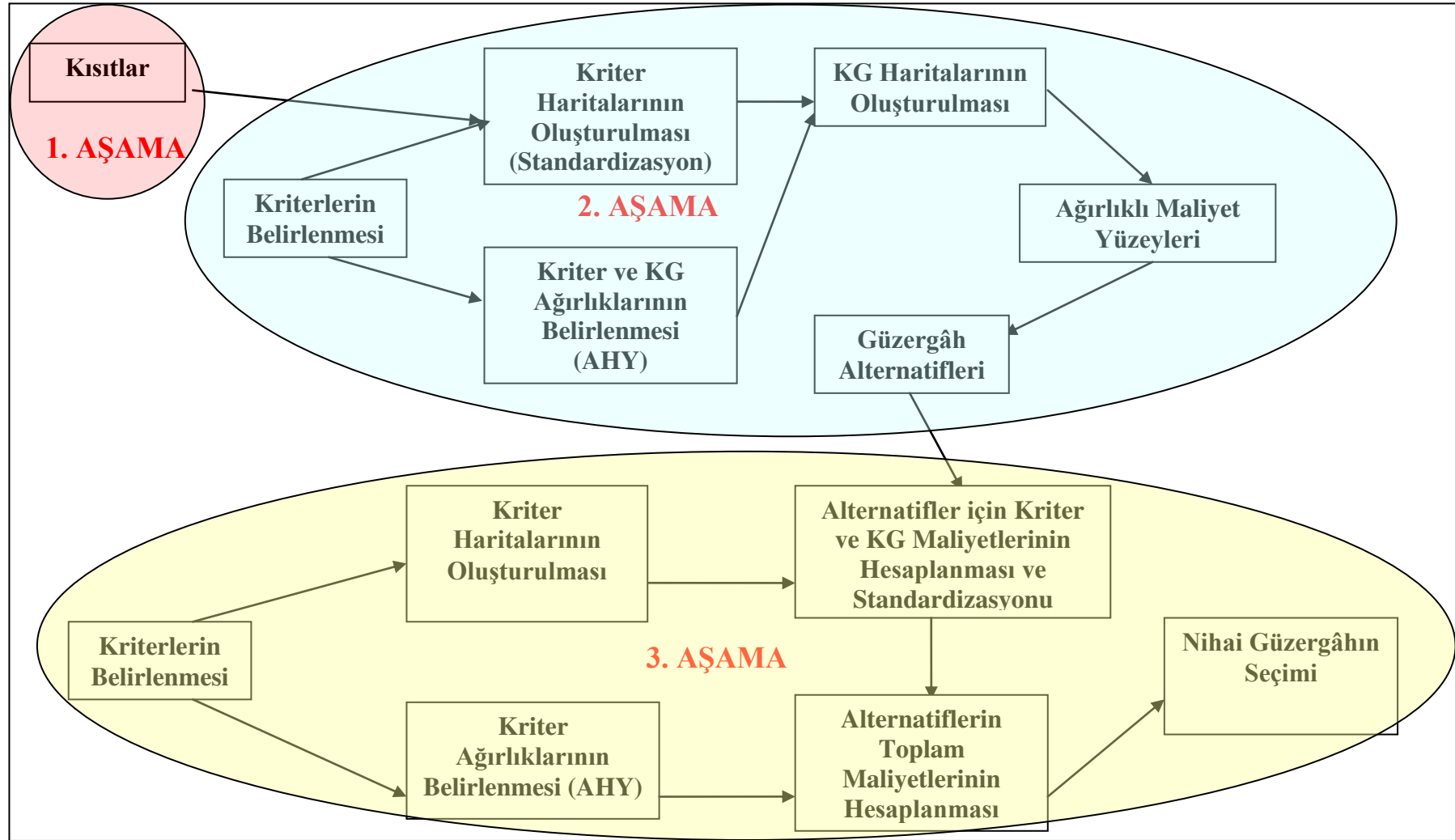
Önerilen modelde kullanılan pek çok kavram ve yöntem önceki bölümlerde açıklanmıştı. 3 aşamadan oluşan bu modelin ana hatları bu bölümde verilmektedir. İleriki bölümde ise önerilen bu model gerçek bir karayolu projesinde uygulanmaktadır.

Belirtildiği gibi, önerilen model ÇKD yapmaya imkan veren bir modeldir. Literatürdeki ÇKD yapılan çalışmalara bakıldığında, genelde; çalışmada yer verilecek kriterlerin belirlendiği, kriterleri temsil eden haritaların oluşturulduğu, haritaların standardize edildiği, kriterlere ağırlık atandığı, ağırlıklarla birleştirilen kriter haritalarından birikimli maliyet haritasının oluşturulduğu ve bu harita üzerinde en uygun güzergahın belirlenmeye çalışıldığı gözlenmektedir. Önerilen modelde de bu işlemlere çeşitli şekillerde başvurulmaktadır. Ancak önerilen modelin literatürdeki diğer çalışmalardan ayrıldığı bazı noktalar vardır:

Bu çalışmada; haritaların doğrudan kriterler olarak kullanılması yerine, klasik olarak karar vericilerin kullandığı kriterlerin kullanılmasına ve bu kriterlerin eldeki haritalarla temsil edilmesine çalışılmıştır. Bu kriterler de, ağırlıklı olarak, çalışmanın birinci bölümünde yer verilen “Güzergâh Tespitinde Kullanılacak Genel Prensipler”den yola çıkılarak tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, literatürdeki pek çok çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, kararlara temel olacak ve ağırlıklarına karar verilecek olan unsurlar haritalar değil, kriterlerdir. Örneğin, pek çok çalışmada en çok kullanılan özellik olan eğim, bu çalışmada tek başına bir anlam taşımamaktadır; eğim, yol kullanıcı giderlerini belirlemesi,

heyelan tehlikesine etki etmesi gibi nedenlerden ötürü anlam kazanmaktadır. Dolayısıyla, karar verici, eğim “özellğiyle” ilgilenmek ve onun ağırlığını/önemini belirtmek zorunda olmayacak, onun için asıl önemli olan kriterleri (yol kullanıcı giderleri, yapı güvenliği, vb.) ve önemlerini belirttiğinde, eğim de başka “özellik”lerle birlikte bu kriterleri temsil edebilmek için kullanılacaktır. “Özellik” deyimiyile kastedilen, bölgeye ait eğim, bakı, yağış, vs. gibi unsurlardır.

Modelde yer verilecek kriterler belirlenmeye çalışılırken, bazı kriterlerin ön koşul niteliğinde olduğu, yolun yapılacağı alanda bu kriter sağlanmadan (alan diğerkriterler açısından çok uygun olsa bile) alanın kullanılamayacağı görülmüştür. Örneğin, alan içerisinde bulunan ve yasal olarak kullanılması mümkün olmayan bir bölüm, diğerkriterler açısından çok uygun olsa bile, güzergâhın buradan geçmesi engellenmelidir. Böyle yerlere bazı çalışmalarda bariyer adı verilmektedir. Ayrıca, bazı kriterlerin güzergâhın belirlenmesi aşamasında dikkate alınmaları mümkünken, bazı kriterlerin ise ancak güzergâh belirlendikten sonra değerlendirilebilecekleri anlaşılmıştır. Örneğin, su kirliliği kriterini güzergâhın belirlenmesi aşamasında dikkate almak mümkündür; diğertaraftan, “yolun ileride iyileştirilebilme imkanı” kriteri, ancak önceden belirlenmiş yol güzergâhının etrafındaki alanın incelenmesiyle dikkate alınabilecek bir kriterdir. Bu durumda, literatürdeki çoğu çalışmadan farklı olarak, önerilen güzergâh tespit modelinde bütün kriterler bir arada ve tek bir adımda kullanılmamış, 3 aşamada değerlendirme yapılmıştır. Modeldeki birinci aşama kısıtların uygulanmasını, ikinci aşama güzergâh alternatiflerinin belirlenmesini, üçüncü aşama ise oluşturulan güzergâh alternatiflerinin karşılaştırılmasını ve seçim yapılmasını içermektedir. “3 Aşamalı Karayolu Güzergâh Tespit Modeli” olarak adlandırılan bu yöntemin her bir aşaması aşağıda ele alınmaktadır. Önerilen modelin şematik gösterimi Şekil 11.’de verilmektedir.



Şekil 11. Önerilen 3 Aşamalı Karayolu Güzergâh Tespit Modeli'nin şematik gösterimi

2.1.1. Birinci Aşama: Kısıtların Uygulanması

Birinci aşamada, “ön koşul” veya “kısıt” olarak adlandırabilecek kriterler yer almaktadır. Bu aşamayı bir nevi eleme aşaması olarak görmek de mümkündür. Kısıtlar, bir yerin kullanılmasını kesinlikle engelleyen kriterlerdir. Bu engellenmenin sebebi yasal bir zorunluluk (sit alanı, kıyı kanunu gibi), mühendislik açısından bir zorunluluk (jeolojik yapıdaki uygunsuzluk gibi) ya da benzer başka bir zorunluluk olabilir. Bu aşamadaki kriterler sağlanmadan, diğer kriterler açısından çok uygun olsa bile, alan kullanılamamaktadır.

Bu aşamada, Boolean standardizasyonu kullanılarak standardize edilen kısıt haritaları, herhangi bir hiyerarşi kurulmasını gerektirmeden birleştirilmekte, böylece çalışma alanında herhangi bir sebeple kullanılması mümkün olmayan bütün alanları gösteren bir harita elde edilmektedir. Elde edilen bu harita, ikinci aşamada oluşturulacak olan kriter haritalarının maskelenmesinde kullanılmakta ve oluşturulacak güzergâh alternatiflerinin buralardan geçmemesini sağlamaktadır.

Bazı çalışmalarda burada anlatıldığı gibi bir eleme aşaması kullanmak yerine, ikinci aşamada tematik haritaların standardizasyonu yapılırken, kullanılması istenmeyen yerlere çok yüksek maliyetler atanması yönteminin de aynı sonucu vereceği öne sürülmektedir. Fakat bu yaklaşımın doğru olmadığı düşünülmektedir: Şöyle ki; eğer bir alan birinci aşamada yasaklanırsa, bu alan diğer kriterler açısından istediği kadar düşük maliyete sahip olsun yine de kullanılamayacaktır, hatta diğer kriterler açısından değerlendirmeye bile alınmayacaktır; ancak alan birinci aşamada elenmez de ikinci aşamada çok yüksek maliyet atanarak değerlendirmeye alınırsa, çok düşük bile olsa bu alanın diğer kriterlerden aldığı düşük maliyetlerden dolayı kullanılma ihtimali olacaktır. Bazı durumlarda da, ikinci aşamada kullanılacak olan standardizasyon yöntemi, yasaklanmak istenen yerlere çok yüksek maliyetler atanmasına uygun olmayabilir ya da buralara atanan çok yüksek maliyetler diğer yerlerin alacağı standardizasyon puanlarını etkiliyor olabilir. Dolayısıyla, yasal açıdan, mühendislik açısından, vb. güzergâhın geçmesi kesinlikle istenmeyen yerler birinci aşamada elenmelidir.

2.1.2. İkinci Aşama: Güzergâh Alternatiflerinin Oluşturulması

İkinci aşama tasarım aşamasıdır. Güzergah alternatiflerinin oluşturulduğu aşama bu aşamadır. Bu aşamada özetle şu adımlar takip edilmektedir:

- 1- Süreçte yer verilecek kriterlerin belirlenmesi ve kriter haritalarının oluşturulması,
- 2- Kriterlerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ve AHY kullanılarak ağırlıklarının belirlenmesi,
- 3- Kriter Grubu (KG) haritalarının oluşturulması,
- 4- KG haritaları ve belirlenen ağırlıklar kullanılarak “Ağırlıklı Maliyet Yüzeyleri”nin (AMY) oluşturulması,
- 5- AMY’ler üzerinden “Güzergâh Alternatifleri”nin belirlenmesi.

CBS tabanlı ÇKD kullanılacak olan bu aşamada pek çok kriter bir arada kullanılmaktadır. Değerlendirmeye katılacak kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi, bu sürecin en can alıcı noktasıdır. Kriterler ve ağırlıkları her proje için aynı olmayacaktır. Projenin esas yapım amacına ve karar vericinin bakış açısına göre kriterlerin sayısı ve ağırlıkları değişik belirlenebilecektir. Örneğin, bir çevre yolu yapılırken göz önünde bulundurulacak en önemli unsurlar, yolun mümkün oldukça yerleşimlerden uzak geçirilmesi ve kentin sağlıklı bir şekilde gelişmesi olarak belirlenebilirken, bir otoyol projesinde dikkate alınacak en önemli unsurlar geometrik standartların yüksekliği ve seyahat süresinin kısıllığı olabilecektir.

Bu aşamada, süreçte yer verilecek kriterlerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ve AHY kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Hiyerarşi şemasının en üstünde, amaç olarak “optimum güzergâhın belirlenmesi” bulunmaktadır. Bu amaca ulaşmak için kullanılacak kriterler KG’ler altında sıralanmışlardır. Örneğin, “uygulama” bölümünde de görüleceği gibi, bu çalışmada ikinci aşamada 6 KG altında 22 kritere yer verilmiştir.

Kriterlerin hiyerarşi şemasına yerleştirilmesi sırasında karşılaşılabilecek güçlüklerden birisi, kriter sayısının fazlalığıdır. Her bir KG altında yer alacak olan kriter sayısının, insanın aynı anda değerlendirebileceği kriter sayısı olan 7 rakamını geçmemesine çalışılmalıdır (Bronslow ve Watson, 1987). Karşılaşılabilecek bir diğer güçlük; bazı kriterlerin KG’lerden birkaçıyla birden ilgili olabilmesidir. Örneğin, “jeolojik yapı” kriteri, esasen bir mühendislik kriteri olmasının yanında, yapım maliyetini de etkileyebileceğinden aynı zamanda bir ekonomik kriter olarak düşünülebilir. Ancak, bu

kriterin her iki KG’de birden kullanılması doğru ve mümkün değildir. Zira bu durumda bu kriter “çift sayılmış”, yani kritere gereğinden fazla önem verilmiş olacaktır. Dolayısıyla kriterlerin yalnızca bir gruba konması önemlidir. Çatışmaları ve çakışmaları engellemek için, her kriterin anlamı ve kapsamı açıkça belirtilmelidir.

Kriterler belirlendikten sonra yapılması gereken iş, kriter haritalarının oluşturulmasıdır. Kriter haritaları, aşağıda “kriter haritalarının oluşturulması ve standardizasyonu” kısmında anlatılan yaklaşımla sınıflı veya sürekli olarak standardize edilmekte/oluşturulmaktadır. Daha doğal olduğu için, mümkün oldukça sürekli standardizasyonun kullanılmasına çalışılmalıdır.

Oluşturulan kriter haritaları, AHY sonucunda belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak birleştirilmekte ve KG haritaları oluşturulmaktadır.

KG haritaları da, kendileri için tespit edilen ağırlıklar kullanılarak birleştirilmekte ve AMY haritaları oluşturulmaktadır. KG haritalarının birleştirilmesinde kullanılan ağırlık setlerinin her biri farklı bir AMY ortaya çıkaracaktır. Güzergâh tespitiyle ilgili farklı taraflar kendi açılarından önemli olan kriterleri ön plana çıkarmak üzere KG’lere farklı ağırlıklar verebileceklerdir. Örneğin; hükümet, ekonomik kriterler ve bölgesel kalkınmayla ilgili kriterlere daha fazla önem vermek için ekonomik KG’ye daha fazla ağırlık vermek isterken, çevreciler doğayı korumayla ilgili kriterlere daha fazla önem vermek üzere çevre KG’ye daha yüksek ağırlık vermek isteyebilirler. Bu durumda, farklı bakış açılarına göre farklı değerlendirme setleri, yani farklı KG ağırlıkları kullanılması ve böylece birbirinden farklı güzergâh alternatifleri elde etmek mümkündür. Bu şekilde, nihai karar vericiye farklı bakış açılarına göre farklı seçenekler sunulması mümkün olmaktadır.

Doğal olarak, oluşturulan AMY haritaları, birinci aşamada elenen alanların haricinde kalan alanları kapsamaktadır. Bu AMY haritaları üzerinde, en kısa yol algoritmalarından birisi kullanılarak güzergâh alternatifleri belirlenmektedir. Farklı değerlendirme setlerine (farklı bakış açılarına) göre oluşturulan alternatif güzergâhlar, karşılaştırılmak üzere 3. aşamaya geçirilmektedir.

2.1.3. Üçüncü Aşama: Güzergâh Alternatiflerinin Karşılaştırılması/Seçim Yapılması

Üçüncü aşama, “alternatifler arasından seçim” aşamasıdır. Bu aşamada, ikinci aşama sonunda tespit edilen güzergâh alternatifleri karşılaştırılmakta ve en uygunu

belirlenmektedir. Üçüncü aşamadaki kriterlerin ağırlıkları da ikinci aşamadakine benzer bir süreçle, AHY kullanarak belirlenmelidir.

İkinci aşamada yer alan kriterlerin çoğu üçüncü aşamada da yer almaktadır. Ancak, bu kriterlerin ele alınış şekilleri farklıdır: zira, belirtildiği gibi, ikinci aşama bir “tasarım” aşamasıyken, üçüncü aşama bir “alternatifler arasından seçim” aşamasıdır. Üçüncü aşamada yapılan işlemler kısaca şöyle özetlenebilir:

- 1- Yer verilecek kriterlerin belirlenmesi,
- 2- Kriterlerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ve AHY kullanılarak ağırlıklarının belirlenmesi,
- 3- Güzergâh alternatifleri için kriter maliyetlerinin hesaplanması,
- 4- Güzergâh alternatifleri için toplam maliyetlerin hesaplanması,
- 5- En uygun güzergâh alternatifinin seçilmesi.

Uygulama bölümünde bu adımlar daha açık olarak anlatılmaktadır.

2.2. Kriter Haritalarının Hazırlanması ve Standardizasyonu

Önerilen modelin ikinci aşamasında her kriterin bir haritayla temsil edilmesi gerektiği daha önce belirtilmişti. Kriter haritaları bir veya birden fazla tematik harita kullanılarak oluşturulurlar. Tematik haritalar, insanları ilgilendiren çeşitli konuları inceleyen ve bunlara ait büyüklüklerin yeryüzündeki dağılımlarını ya da konumlarını özel teknik ya da anlatım biçimleriyle gösteren haritalardır (Koçak, 1985). Eğim haritası, baki haritası, gürültü haritası, vb. haritalar tematik haritalara örnek olarak verilebilir.

Kriter haritaları da birleştirilerek KG haritaları oluşturulacağından, kriter haritalarının hepsinin aynı birime sahip ya da birimsiz olmaları gerekmektedir. Ancak kriterlerin temsilde kullanılan tematik haritaların her birisi, kendine has birimlerle oluşturulmuştur. Örneğin; jeolojik yapı kriterindeki birim; “jeolojik sınıflar” iken, tarımsal topraklara uzaklık tematik haritasında birim; “metre”, eğim tematik haritasında ise birim; “yüzde”dir. Dolayısıyla, farklı birimlere sahip olan bu tematik haritaların birleştirilebilmeleri ve böylece kriter haritalarının oluşturulabilmeleri için standardizasyon adı verilen işlemin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Standardizasyon için kullanılabilecek pek çok yöntem vardır. Pek çok araştırmacı, yaptıkları çalışmalarda standardizasyon işleminde kendi bilgi, tecrübe ve tercihlerini

kullanarak değişik yöntemler kullanmışlardır. Bu çalışmada bazı kriterler tek bir tematik haritayla temsil edilirken (jeolojik yapı kriteri gibi), bazı kriterler ise birkaç tematik haritanın birlikte kullanılmasıyla temsil edilmiştir (heyelan haritasının oluşturulmasında “eğim”, “jeolojik yapı” ve “orman” tematik haritalarının birlikte kullanılması gibi). Bu nedenle, standardizasyon konusu da, “tek tematik harita ile temsil edilen kriterlerin standardizasyonu” ve “birden fazla tematik haritanın kullanılmasıyla temsil edilen kriterlerin standardizasyonu” olmak üzere iki başlık altında ele alınmıştır.

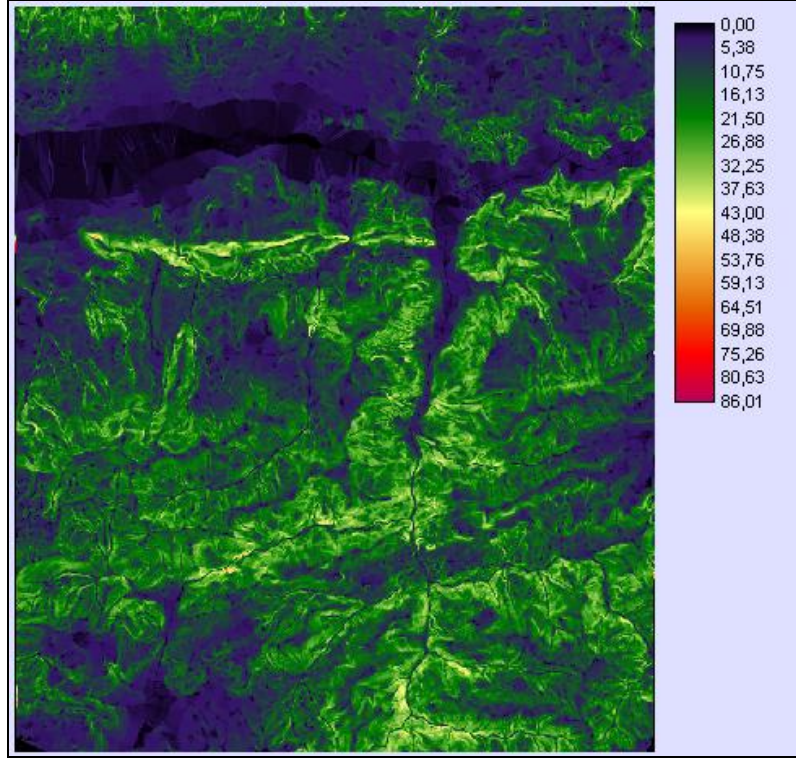
2.2.1. Tek Tematik Harita ile Temsil Edilen Kriterlerin Standardizasyonu

Tek tematik harita ile temsil edilen kriterlerin standardizasyonu için, ele alınan kriterin özelliğine göre Boolean (ikili) standardizasyon, sınıflı standardizasyon ve sürekli standardizasyon olmak üzere 3 farklı yöntem kullanılmıştır.

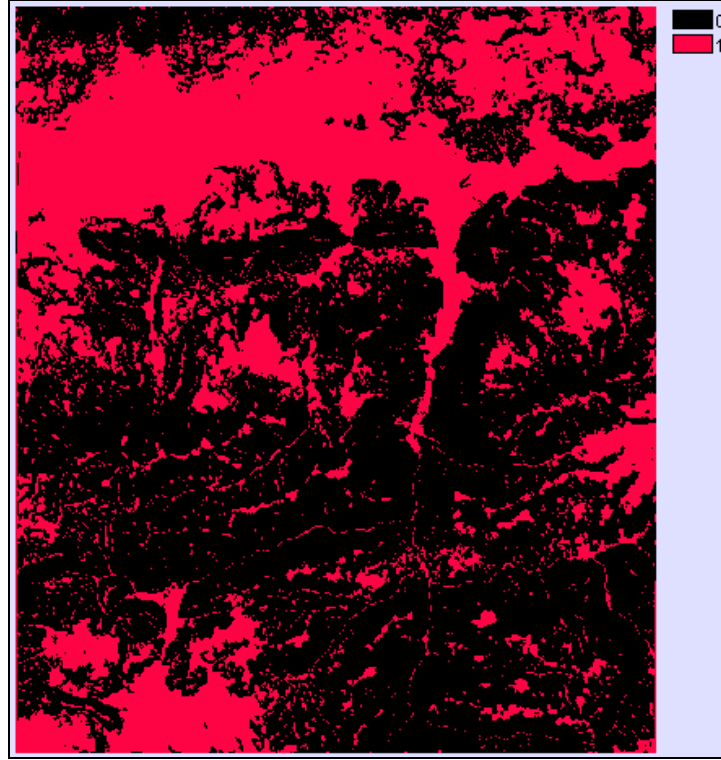
2.2.1.1. Boolean Standardizasyon

CBS tabanlı karar verme konularında en çok kullanılan standardizasyon yaklaşımlarından birisi, Boolean yaklaşımıdır. Boolean standardizasyon, ÇKD problemlerinde genelde kısıt haritalarının oluşturulmasında kullanılır. Bu çalışmada da birinci aşamadaki kısıt haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu yaklaşımda; eğer ele alınan kriter sürekli bir özelliği gösteriyorsa (eğim haritası gibi), bir eşik değer belirleyerek; eğer ele alınan kriter sınıflı bir yapıdaysa (arazi kullanım haritası gibi), sınıflara 0 ve 1 değeri atanarak, harita uygun ve uygun değil olarak ikiye ayrılır. Örneğin; Şekil 12.’de verilen eğim haritasında, amaç doğrultusunda %15 eğim eşik değeri olarak belirlenmiş (% 15’e kadar olan eğimler uygun, % 15’den fazla olan eğimler uygun değil) ve harita standardize edilmiştir (Şekil 13.)

Bu yöntem, kullanılması kolay bir yöntemdir: ancak bazı sakıncaları vardır. Bu yöntem, bir yerin değerlendirilecek kriter açısından uygun olup olmadığı konusunda kesin yargılar içermektedir ve uygun alanlar ile uygun olmayan alanlar arasında keskin bir çizgi oluşmaktadır. Örneğin, yukarıdaki örnekte % 15 eğime sahip olan yer uygun olarak belirlenirken hemen yanında bulunan % 15.01 eğime sahip olan yer uygun değil olarak belirlenmiştir. Ayrıca, uygun sınıfına giren alanlar içerisinde her yer eşit kabul edilmektedir. Örneğin, eğimi % 0 olan yer ile % 15 olan yer arasında bir fark yoktur.



Şekil 12. Çalışma alanına ait eğim haritası (%)



Şekil 13. Boolean yöntemiyle standardize edilmiş eğim haritası

Dane ve Tecim (2007), hafif raylı taşıma sistemleri için en uygun güzergâhın belirlenmesi konusundaki çalışmalarında “Boolean standardizasyon-Boolean birleştirme” yaklaşımı ile “bulanık üyelik fonksiyonlarıyla standardizasyon-AHY ile birleştirme” yaklaşımlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonunda, “Boolean standardizasyon-Boolean birleştirme”nin seçim alternatiflerini oldukça kısıtladığı belirtilmiştir.

2.2.1.2. Sınıflı Standardizasyon

Çok kullanılan standardizasyon yöntemlerinden birisi de sınıflı standardizasyondur. Bu yöntem, genel olarak; “ele alınan özelliğin alabileceği muhtemel değerlerin aralıklara bölünmesi ve bu aralıklara tercih edilme veya edilmeme derecelerine göre puanların verilmesi” şeklinde özetlenebilir. Verilecek puanların ölçeği, çalışmanın özelliğine göre, 0-1 aralığı, 0-10 aralığı, 0-100 aralığı, 0-255 aralığı veya başka bir aralık olabilir.

Yukarıdaki eğim örneğine dönülürse, eğime göre arazinin uygunluğunu belirlemek için Tablo 3.’teki sınıflandırma kullanılabilir. 0-255 ölçeği kullanılarak yapılan bu sınıflandırmaya uygun olarak oluşturulan harita Şekil 14.’de gösterilmiştir.

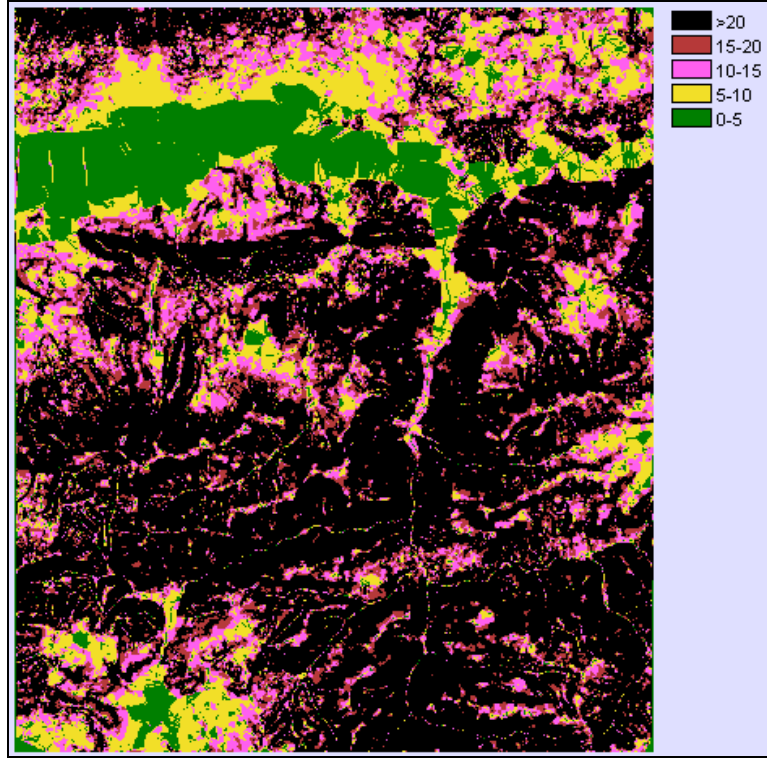
Tablo 3. Eğim haritasının sınıflı standardizasyon değerleri

Eğim (%)	Uygunluk değeri
0 - 5	255
5 - 10	200
10 - 15	150
15 - 20	100
> 20	0

Bu yöntem de kullanılması kolay bir yöntemdir: ancak bu yöntemin de bazı sakıncaları vardır. Bu yöntem de yukarıda anlatılan Boolean standardizasyon yöntemindeki kadar olmasa da kesin sınırlar içermekte ve sürekliliği sağlayamamaktadır. Örneğin, eğimi % 20 olan yer 100 uygunluk puanı alırken, hemen yanındaki % 20.01 eğimli yer 0 uygunluk puanı almaktadır. Ayrıca, sınıflar da kendi içerisinde eşit kabul edilmektedir: örneğin, eğimi %15 olan yer ile % 19.99 olan yer eşit kabul edilmektedir. Sınıf sayısının artırılmasıyla bu sakıncalar azalmaktaysa da, bu durumda hem işlem miktarı artmakta, hem de sakıncalar tamamen ortadan kalkmamaktadır.

Bazı haritalar ise, doğası gereği sınıflardan oluşmaktadır. Örneğin, toprak kabiliyeti sınıflarını veya jeolojik durumu gösteren bir harita, zorunlu olarak sınıflardan oluşur. Dolayısıyla, bu tür haritalar zorunlu olarak sınıflı standardize edilmelidirler.

Sınıflı standardize edilen haritaları Boolean standardizasyona tabi tutmak da her zaman mümkündür; zira, Boolean standardizasyon sınıflı standardizasyonun özel bir halidir: Sadece iki sınıftan oluşan bir sınıflı standardizasyondur



Şekil 14. Sınıflı standardize edilmiş eğim haritası

2.2.1.3. Sürekli Standardizasyon

Çoğu kriter için en gerçekçi standardizasyon yöntemi sürekli standardizasyondur. Bu standardizasyonda, ele alınan özelliğin alabileceği muhtemel değerler suni bölümlemelere tabi tutulmadığı için, yukarıdaki 2 standardizasyon yönteminde sayılan “keskin ayrım” ve “sınıf içi değerlerin aynı kabul edilmesi” sakıncaları bulunmaz. En yaygın olan iki yöntem, “Doğrusal Ölçü Transformasyonu” ve “Bulanık Üyelik Fonksiyonları” kullanımıdır.

2.2.1.3.1. Doğrusal Ölçü Transformasyonu

En çok kullanılan yöntemlerden birisi Doğrusal Ölçü Transformasyonu'dur (Linear Scale Transformation). Bu yöntem, sürekli değerlere sahip haritaların (örneğin uzaklık haritaları) standardizasyonunda kullanılabilen bir yöntemdir. Sınıflardan oluşan tematik haritaların (örneğin jeolojik durum tematik haritası) standardizasyonu için uygun değildir.

Yalçın (2002), bu yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemde; haritadaki her değerden haritadaki minimum değer çıkarılır, sonra elde edilen bu değer haritadaki maksimum ve minimum değerlerin farkına bölünür (1):

$$x = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

Bütün değerlerin 0 ile 1 arasında kaldığı bu yöntemde, değerler büyüdükçe (1'e yaklaştıkça) tercih edirlilik artmaktadır (Malczewski, 1999). 0-1 ölçeğinden başka bir ölçekte (örneğin 0-255 ölçeği) standardizasyon yapılmak istenirse, değerler basitçe üst sınır değeriyle (örneğin 255 ile) çarpılır.

Bu maksimizasyon işleminin tersini kullanmak da mümkündür. Yani, Tunca (2003)'de olduğu gibi, minimizasyon yaparak, 0 ile 1 arasındaki değerler küçüldükçe (yani 0'a yaklaştıkça) tercih edirliliğinin arttığı bir yaklaşım da kullanılabilir (2):

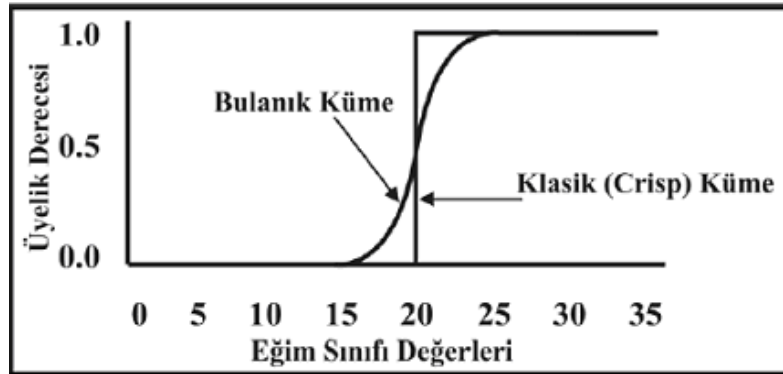
$$x = (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

Doğrusal Ölçü Transformasyonu kullanırken sınır değerlerin seçimine dikkat etmek gerekmektedir. Örneğin, sanayi alanı için uygun yer seçimini içeren bir çalışmada, koruma alanından ne kadar uzağa kadar olan yerlerin dikkate alınacağı özenle belirlenmelidir, zira, harita 100 km uzağa kadar olan yerleri gösteriyor olsa bile pratikte koruma alanına 10 km uzak olan yerle 100 km uzak olan yer arasında bir fark yoktur (her ikisi de çok uzaktır). Fakat maksimum değer olarak 100 km kabul edilirse, koruma alanına 10 km uzak olan yerlerin alacağı uygunluk değeri bile gereksiz yere çok küçük hesaplanacaktır. Dolayısıyla, maksimum ve minimum noktaların seçimine dikkat edilmelidir (Eastman, 2003).

2.2.1.3.2. Bulanık Üyelik Fonksiyonları Kullanarak Standardizasyon

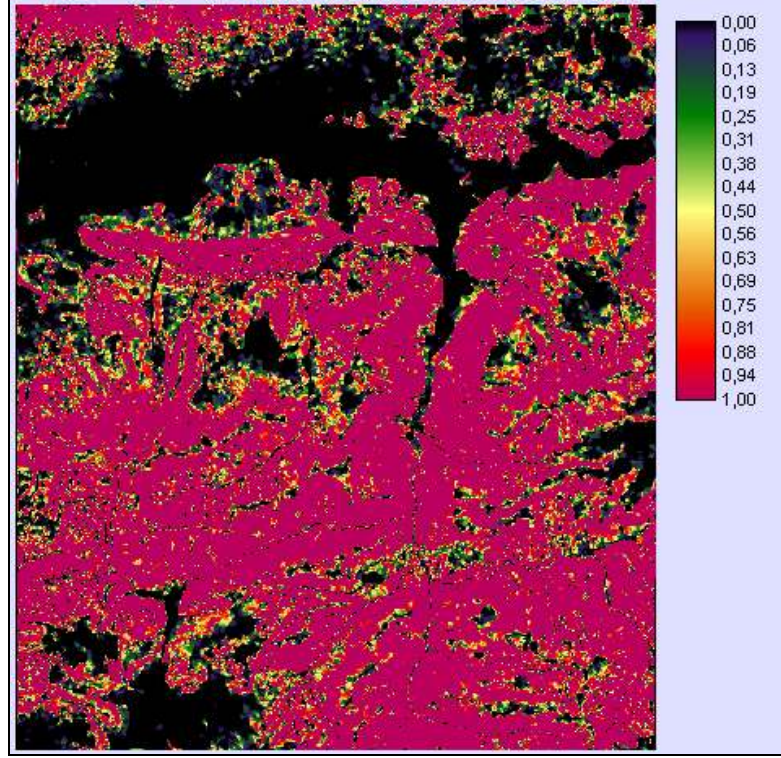
Sürekli standardizasyon yöntemlerinden birisi de bulanık üyelik fonksiyonu kullanmaktır. Bulanık kümeler, keskin sınırları olmayan, yani bir noktanın üyeliği ile üye olmama durumu arasındaki geçişin yumuşak olduğu kümelerdir (Eastman, 2003 ; Zadeh, 1965; Schmucker, 1982). Bulanık kümelerle standardizasyon, kriter ile karar kümesi arasında daha özgün bir ilişki kurulmasını sağlar.

Bulanık kümeler, 0-1 aralığında değişen bulanık üyelik dereceleriyle karakterize edilirler. 0 değeri üye olmama durumunu, 1 değeri ise tam üyeliği gösterir. Örneğin, bir eğimin dikliğini değerlendirirken, % 10 eğimin 0 değerini aldığı ve %25 eğimin 1 değerini aldığı bir bulanık üyelik fonksiyonu tanımlayabiliriz. %10 ile %25 eğimleri arasında bulanık üyelik değeri 0'dan 1'e yavaşça yükselir (Şekil 15.). Bu, Boolean ve sınıflı standardizasyonlarda kullanılan, keskin sınırları olan kesin kümelere zıttır. Ancak, bir kesin küme de bulanık kümelerin özel bir hali olarak düşünülebilir (Şekil 15.). Dolayısıyla, Boolean ve sınıflı standardizasyonlar da bulanık kümelerle standardizasyonun özel halleridir.



Şekil 15. Eğim için “klasik küme” ve “bulanık küme” üyelik fonksiyonları (Eastman, 2003).

Şekil 16.'da görüldüğü gibi, bu standardizasyonda süreklilik sağlanmıştır. Ayrıca, sınırlar da keskin değildir.



Şekil 16. Sürekli standardize edilmiş eğim haritası

2.2.2. Birden Fazla Tematik Haritanın Kullanılmasıyla Temsil Edilen Kriterlerin Standardizasyonu

Yukarıda bahsedildiği gibi, bazı kriterler birkaç tematik haritanın birlikte kullanılmasıyla temsil edilebilirler. Örneğin, aşağıda kriter haritalarının hazırlanması bölümünde de görüleceği gibi, konfor kriterinin iki boyutu vardır: Arazi topoğrafyası ve arazi kullanımı. Dağlık arazilerde yatay ve düşey kurp sayısı fazla olacağından konfor bozulacaktır; bu nedenle konfor kriteri açısından yolun mümkün olduğu kadar düz arazilerden geçirilmesi tercih edilir. Diğer taraftan, yerleşim yerlerinde trafik ışıkları, yaya geçitleri, kavşaklar vb. sebebiyle sık sık trafiğin durmak zorunda kalması da konforu bozar; bu sebeple konfor kriteri açısından yolun mümkün olduğu kadar yerleşim yerlerinin uzağından geçirilmesi istenir. Yani, çalışma alanındaki bir noktaların konfor kriteri açısından uygunluğu, hem o noktadaki arazi topoğrafyasına, hem de noktanın yerleşim yerlerine uzaklığına bağlıdır; dolayısıyla, konfor kriter haritası oluşturulurken topoğrafya tematik haritası ile yerleşimlere uzaklık tematik haritalarının birlikte kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, kriterlerin temsilinde kullanılacak tematik haritaları birleştirebilmek için, önce tematik haritalardan her birisini kendi içerisinde standardize eden, daha sonra standardize edilmiş tematik haritaları birbiriyle matematiksel, mantıksal veya daha farklı bir işleme sokan bir yöntem kullanılmıştır.

Bu yöntemde, özelliklerin ayrı ayrı standardizasyonu için, yukarıda “Tek haritanın kullanılmasıyla temsil edilen kriterlerin standardizasyonu” bölümünde anlatılan yöntemlerden (Boolean, sınıflı, sürekli standardizasyon) en uygun olanı kullanılır. Birleştirilecek tematik haritaların aynı yöntemle standardize edilmiş olmaları gerekli değildir. Her bir haritanın standardizasyonunda kullanılan yönteme göre 9 farklı durum ortaya çıkar (Tablo 4.).

Tablo 4. Birleştirilen tematik haritaların standardizasyon yöntemlerine göre oluşan kombinasyonlar

Standardizasyon no	1. haritanın standardizasyonu	2. haritanın standardizasyonu
1	Boolean	Boolean
2	Boolean	Sınıflı
3	Boolean	Sürekli
4	Sınıflı	Boolean
5	Sınıflı	Sınıflı
6	Sınıflı	Sürekli
7	Sürekli	Boolean
8	Sürekli	Sınıflı
9	Sürekli	Sürekli

Ortaya çıkan standardize edilmiş tematik haritaların birleştirilmesi için, her kriterin kendi özelliğine göre farklı işlemler kullanılabilir. En basit ve en yaygın olan işlemler; minimumun alınması, maksimumun alınması, aritmetik ortalamanın alınması ve çarpaz tablolama yapılmasıdır. Bunlardan başka aritmetik çarpım kullanılması veya bir haritanın diğerini kaplaması (cover) gibi işlemlere de zaman zaman yer verilmektedir. Bu işlemlerin her birisinin felsefi olarak farklı anlamları bulunmaktadır.

Maliyet yaklaşımıyla bakılırsa; maksimum alma işlemi, risk sevmeyen bir işlemdir. Bu işlemde, bir hücrenin standardizasyon sonucunda alacağı maliyet değeri, kendisini oluşturan tematik haritalardan gelen maliyet değerlerinden yüksek olanıdır. Konfor örneğine dönülürse; bir hücre dalgalılık açısından çok uygun, yani düşük maliyete sahip

olmasına rağmen, eğer yerleşim yerlerine yakın bir yerdeyse, yani yüksek maliyet değerine sahipse, bu hücre yüksek maliyet değerine sahip olacak ve az tercih edilecektir. Genel olarak, her iki tematik haritada birden düşük maliyete sahip olan yerlerin düşük maliyet değerine sahip olacağı, tematik haritalardan birisinden yüksek maliyet değeri gelen hücrelerin de bu yüksek maliyet değerini alacağı söylenebilir.

Maliyet yaklaşımıyla bakıldığında, minimum alma işlemi, daha risk alan bir işlemdir. Bu işlemde, bir hücrenin standardizasyon sonucunda alacağı maliyet değeri, kendisini oluşturan tematik haritalardan gelen maliyet değerlerinden en düşük olanıdır. Konfor örneğine dönülürse; eğim açısından çok uygun olan, yani düşük maliyet değerine sahip olan bir hücre, eğer yerleşim yerlerine yakın bir yerdeyse, yani yüksek maliyet değerine sahipse, bu hücre yine de düşük maliyet değerine sahip olacak ve çok tercih edilecektir. Genel olarak, iki tematik haritadan en az birisinde düşük maliyete sahip olan yerlerin düşük maliyet değerine sahip olacağı söylenebilir.

Aritmetik ortalamanın alınması, hem felsefi olarak, hem de cebirsel olarak minimum alma ve maksimum alma işlemlerinin arasında bir yerde yer alır. Bu seçenekte, her iki haritadan gelen maliyet değerlerinin aritmetik ortalaması alınmaktadır.

Bazı sınıflı standardizasyonlarda, birleştirilecek haritaların ayrı ayrı standardize edildikten sonra işleme sokulması yerine, standardize edilmeden “çarpraz tablolama” uygulanması ve sonra standardize edilmeleri istenebilir. Çarpraz tablolamada, işleme sokulan iki haritadaki sınıfların olası bütün kombinasyonları için yeni bir sınıf ortaya çıkar. Örneğin, 3 sınıftan oluşan bir harita ile 4 sınıftan oluşan bir harita çarpraz tablolama işlemine sokulduğunda, 12 sınıflı yeni bir harita oluşur. Daha sonra oluşan bu sınıflara istenilen ölçekte yeni standardizasyon değerleri atanır. Bu çalışmada; heyelan ve erozyon kriterlerinin temsilinde bu yaklaşım kullanılmıştır.

2.2.3. IDRISI’de Standardizasyon

Bu çalışmada kullanılan IDRISI yazılımı, yukarıda anlatılan bütün standardizasyonların kolayca yapılmasını sağlayan imkanları bünyesinde barındırmaktadır.

2.2.3.1. IDRISI’de Boolean ve Sınıflı Standardizasyonların Yapılması

IDRISI içerisinde Boolean ve sınıflı standardizasyonların yapımında kullanılan modüller, RECLASS ve Edit/ASSIGN modülleridir.

RECLASS, girilen bir haritadaki değerleri yeniden sınıflandırarak yeni bir harita oluşturur. Orjinal haritadaki tekil değerler veya aralıklara karşılık yeni tamsayı değerler tanımlanır. Yeni değer girilmeyen değerler tamsayıya çevrilecek veya değişmeden kalacaktır. Bu modülü kullanarak, sürekli değerlerden oluşan (eğim haritası gibi) haritalar sınıflara bölünerek her bir sınıfa istenen standardizasyon değeri atanabilir. Sadece 2 sınıf kullanarak Boolean standardizasyon da bu modülle rahatlıkla yapılabilir.

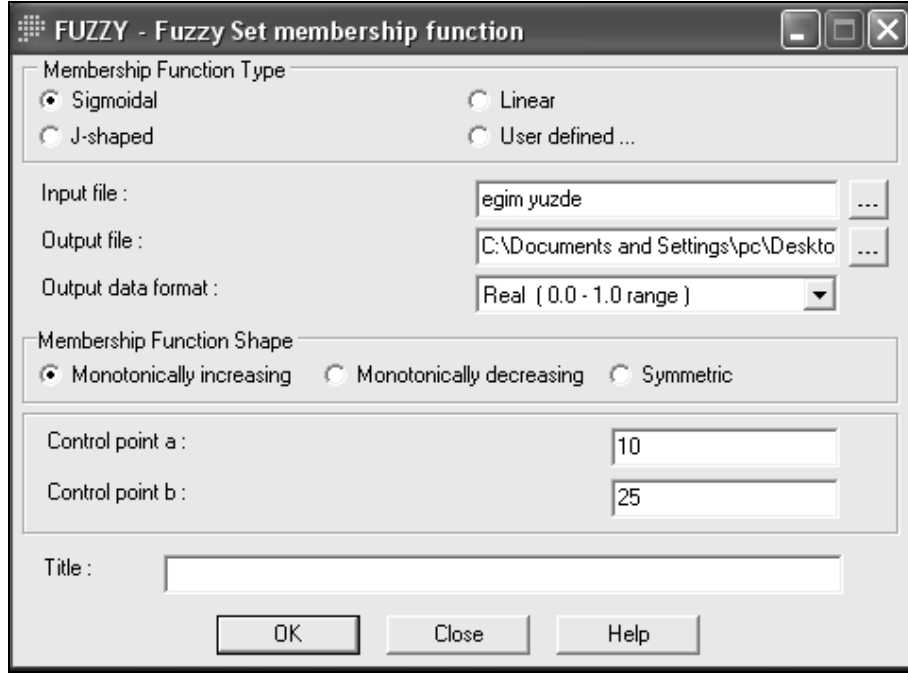
ASSIGN ise, bir raster haritanın özniteliklerini değiştirmek için kullanılır. Bunu, ilk sütunu orjinal değeri, ikinci sütunu atanacak yeni değeri içeren .avl (attribute values file) dosyaları kullanarak yapar. Kullanılacak .avl dosyaları ise Edit modülü ile oluşturulur. ASSIGN modülü kullanılarak, kesikli değerlerden/sınıflardan oluşan (arazi kullanım haritası gibi) haritalarda sınıflara istenen standardizasyon değerleri atanabilir. Standardizasyonda sadece 0 ve 1 değerleri kullanılarak Boolean standardizasyonu da bu modülle yapmak çok kolaydır.

2.2.3.2. IDRISI’de Sürekli Standardizasyonların Yapılması

IDRISI yazılımı içerisindeki FUZZY modülü, bulanık küme üyelik fonksiyonlarını kullanarak, kriterlerin standardizasyonunu 0-1 aralığında veya 0-255 aralığında yapmayı sağlamaktadır. Şekil 17.’de görüldüğü gibi, FUZZY modülünde üyelik fonksiyon çeşidi (Sigmoidal, J şekilli, Doğrusal ve Kullanıcı Tanımlı) ve şeklinin (monoton artan, monoton azalan, simetrik), çıktı veri formatının (0-1 veya 0-255) ve kontrol noktalarının (a, b) kolayca belirlenmesini sağlayan bölümler bulunmaktadır.

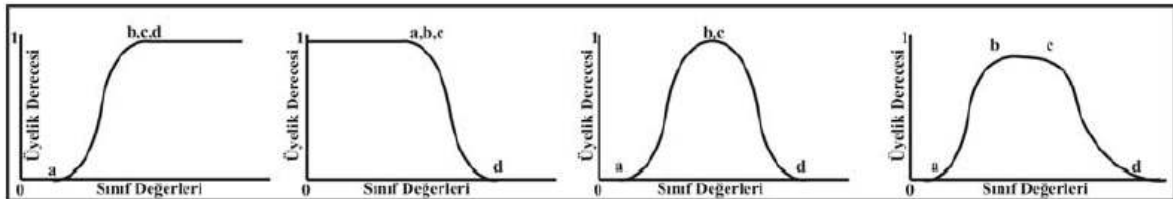
2.2.3.2.1. Üyelik Fonksiyonları

IDRISI içerisindeki FUZZY modülü, 4 çeşit üyelik fonksiyonu sunar. Kriterlerin standardizasyonunda, bu üyelik fonksiyonlarından en uygun olanı, kritere uygun sınır değerleri (a, b, c, d) belirlenerek kolayca kullanılabilir.



Şekil 17. FUZZY modülüne ait ekran görüntüsü

1-Sigmoidal üyelik fonksiyonu: Sigmoidal (S şekilli) üyelik fonksiyonu belki de bulanık küme teorisi içerisinde en çok kullanılan fonksiyondur. Kosinüs fonksiyonu kullanılarak oluşturulur. Kullanımda, FUZZY, 4 düğüm noktasının yatay eksen boyunca olan yerlerini talep eder ve buna göre eğrinin şeklini oluşturur: aşağıdaki şekilde bu noktalar a,b,c,d olarak gösterilmiştir. En sağdaki fonksiyon bütün düğüm noktalarını göstermektedir. Ancak, aynı fonksiyon değişik şekiller alabilmektedir. Şekil 18., mümkün olan bütün olasılıkları göstermektedir.

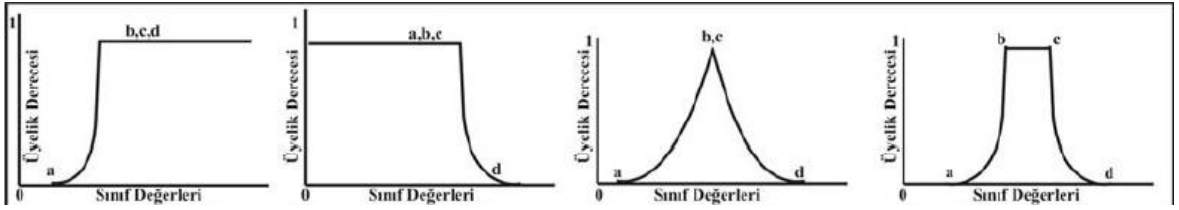


Şekil 18. Sigmoidal üyelik fonksiyonu (Eastman, 2003).

En soldaki monoton artan fonksiyonda eğri 0'dan 1'e yükselir ve düşmez. Fonksiyon 1'e ulaştıktan sonra düşmediğine göre, c ve d noktaları da b ile aynı değeri alacaktır. Şekildeki 2. eğri, monoton azalan bir fonksiyonu göstermektedir. Burada 1'den

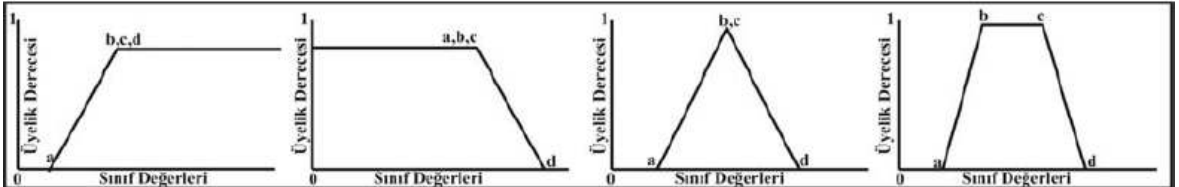
başlayan ve 0'a düşüp orada kalan eğride, a,b ve c değerleri aynıdır. Son iki fonksiyon ise simetrik fonksiyonlardır. Simetriden kasıt geometrik simetriklik değil, fonksiyonun hem artıp hem azalmasıdır.

2-J şekilli üyelik fonksiyonu: Birçok durumda sigmoidal fonksiyon daha iyi gözükse de, J-şekilli fonksiyon da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şekil 19., J-şekilli fonksiyonunun değişik olasılıklarını ve düğüm noktalarını göstermektedir. Bu fonksiyonda eğri 0'a yaklaşır ancak 0'a sonsuzda ulaşır, dolayısıyla, a ve d düğüm noktaları 0 noktasını değil de 0,5 noktasını gösterir.



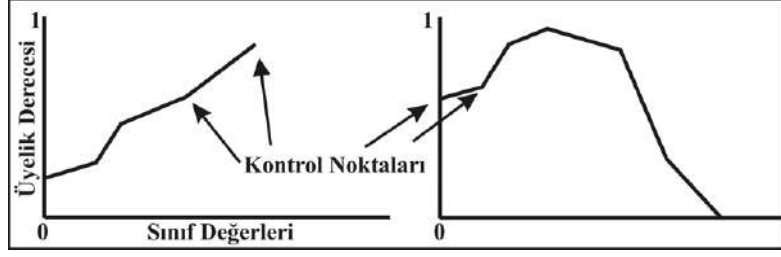
Şekil 19. J şekilli üyelik fonksiyonu (Eastman, 2003).

3-Doğrusal: Şekil 20., doğrusal fonksiyonu, çeşitlerini ve düğüm noktalarının yerlerini göstermektedir.



Şekil 20. Doğrusal üyelik fonksiyonu (Eastman, 2003).

4-Kullanıcı tanımlı: Eğer yukarıdaki fonksiyonlardan hiç birisi istenen ilişkiyi yansıtmıyorsa, kullanıcı kendi fonksiyonunu da tanımlayabilir (Şekil 21.). Burada sınırsız sayıda kontrol noktası kullanılabilir. Herhangi iki kontrol noktası ile bulanık üyelik derecesi arasındaki ilişki çizgisel olarak enterpole edilebilmektedir.



Şekil 21. Kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyonu (Eastman, 2003).

2.2.3.3. IDRISI’de Tematik Haritaların Birleştirilmesi

IDRISI’de, yukarıda anlatılan harita birleştirme işlemlerinin kolayca yapılmasını sağlayan modüller mevcuttur. Bunlardan en önemlisi OVERLAY modülüdür.

OVERLAY, iki harita arasında işlemler gerçekleştirerek yeni bir harita oluşturmada kullanılır. Bu birleştirme işlemi için 9 seçenek sunmaktadır:

- | | |
|--|---|
| 1. Add (Toplama) | : Harita 1 + Harita 2 |
| 2. Subtract (Çıkarma) | : Harita 1 - Harita 2 |
| 3. Multiply (Çarpma) | : Harita 1 x Harita 2 |
| 4. Ratio (Divide) (Bölme) | : Harita 1 / Harita 2 |
| 5. Normalized Ratio (Normalize Oranlama) | : (Harita 1 + Harita 2) / (Harita 1 - Harita 2) |
| 6. Exponentiate (Üs Alma) | : Harita 1 ^(Harita 2) |
| 7. Minimize (Minimum Alma) | : Harita 1 ve Harita 2’den en az olanı. |
| 8. Maximize (Maksimum Alma) | : Harita 1 ve Harita 2’den en çok olanı. |
| 9. Cover (Kaplama) | : Harita 1, Harita 2’yi kaplar. |

Bazı durumlarda iki haritanın işleme sokulması sırasında sabit bir sayı ile de işleme sokmak gerekebilmektedir. Örneğin, iki haritanın ortalamasını almak için, iki haritayı OVERLAY-Add ile birleştirip sonuç haritayı 2 ile bölmek gerekebilir. Bu gibi durumlarda kullanılacak olan modül SCALAR modülüdür. SCALAR, tek bir harita ile bir sabiti aritmetik işleme sokar. Toplama, çıkarma, çarpma, bölme ve üs alma seçenekleri vardır.

Çarpma tablolama uygulanmasını sağlayan modül, CROSSTAB modülüdür. Çarpma tablolamada, işleme sokulan iki haritadaki sınıfların olası bütün kombinasyonları için yeni

bir sınıf ortaya çıkar. Daha sonra oluşan bu sınıflara Edit/ASSIGN ile istenilen ölçekte yeni standardizasyon değerleri atanabilir.

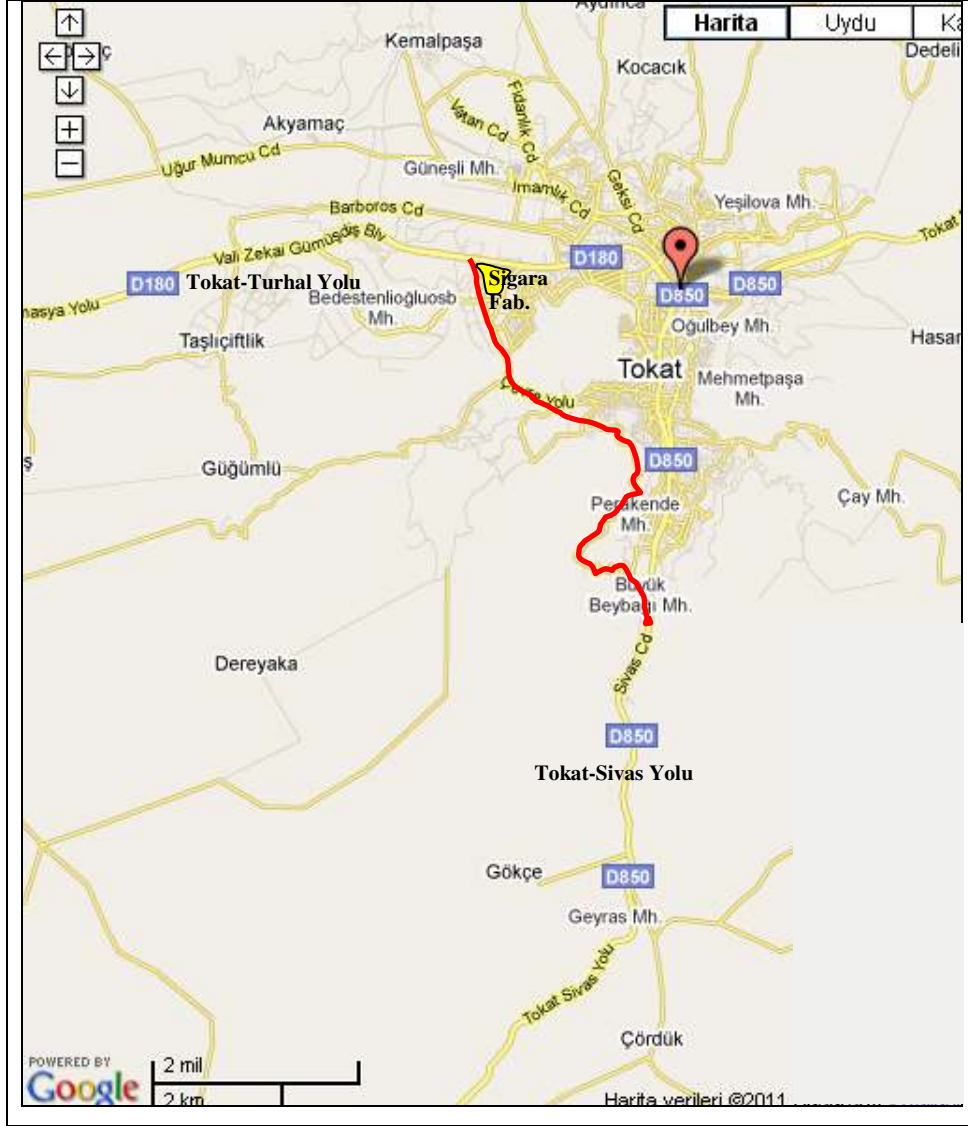
2.3. Uygulama

Bölüm 2.1’de önerilen model, bu bölümde bir çevre yolunun güzergâh tespit işleminde test edilmektedir. Çevre yolları; şehirler arası transit trafiği şehir içerisine sokmadan şehrin çevresinden geçiren ve ana ulaşım arterlerine bağlanan yollardır. Çevre yolunun en önemli özellikleri; şehrin şehirler arası ulaşım gereksinimini karşılaması, başka şehirlerin trafiğini kente sokmaması ve böylece bu trafiğin yükünden ve çevre sorunlarından kentin etkilenmemesini sağlaması, kentin sağlıklı bir şekilde gelişmesine yardımcı olmasıdır. Uygulama alanı olarak, yapımı halen devam etmekte olan Tokat Çevre Yolu (TÇY) projesinin çalışma alanı kullanılmıştır.

2.3.1. Tokat Çevre Yolu Projesi

İhale çalışmaları 2007 yılında başlayan ve 2010 yılı sonunda bitirilmesi hedeflenen Tokat Çevre Yolu Projesi, yaklaşık 9 km uzunluğundadır. Şekil 22’de kırmızı renkle gösterilen mevcut güzergâh; Tokat-Turhal Karayolundaki (D180) Sigara Fabrikası yanından başlamakta, Organize Sanayi içerisinde geçerek Derbent Boğazı, Erenler Mezarlığı bölgesi ve Büyükbeybağı Mahallesi’nden geçerek Tokat-Sivas Karayoluna (D850) bağlanmaktadır. Yer yer meyve bahçeleri, yeşil alanlar ve bir mezarlık içerisinde geçecek olan çevre yolu projesine bölgedeki arazi sahipleri ve mezarlık yakınları tarafından bazı tepkiler de oluşmuştur. Kamulaştırma çalışmalarında karşılaşılan bazı zorluklardan dolayı başlangıçta belirlenen güzergâhın bazı kısımlarında değişiklikler yapılması gerekmiştir. Bu sebeple projede gecikmeler meydana gelmiştir. Nitekim, yapım çalışmaları hala devam etmektedir (Ek 1.).

Tez çalışmasında; bu güzergâhın yerine, geliştirilen model doğrultusunda hangi güzergâhların belirlenebileceği araştırılmış, bulunan güzergâh veya güzergâhlar mevcut güzergâhla karşılaştırılmışlardır. Bu amaçla, mevcut güzergâhı da kapsayan, yaklaşık olarak 17 X 20 km’lik bir alan uygulama alanı olarak tespit edilmiştir. Uygulama alanı Şekil 22.’de gösterilmektedir.



Şekil 22. Uygulama alanı (Google Maps)

Bu projenin seçilmiş olmasının sebeplerinden birisi, kriterlerin temsilinde kullanılacak olan dijital haritalardan pek çoğunun mevcut olmasıdır. Ülkemizdeki CBS projelerinde en çok karşılaşılan güçlük, dijital haritalara ulaşmada yaşanmaktadır. CBS çalışmaları son yıllarda giderek artmaktaysa da, dijital haritalara ulaşmak hala çok zordur. Tokat ili ise, Yeşilirmak Havza Gelişim Projesi (YHGP) kapsamında hazırlanan pek çok dijital haritaya sahip olması açısından bu bağlamda avantajlı olmuştur.

Amacı “akı rejiminin düzenlenmesi, erozyonun önlenmesi ve mera ıslahı, su kirliliğinin giderilmesi, suyun ekonomik kullanımı, şehirleşme ve sanayileşmede plansızlığın giderilmesi, havzada sosyal, kültürel ve ekonomik kalkınmaya yönelik her tür çalışmanın yapılması” olarak belirtilen YHGP’nin coğrafi alanı, Yeşilirmak Havzası

sınırları içinde bulunan 4 ilin (Amasya, Çorum, Samsun ve Tokat) bulunduğu, yaklaşık 40.000 km² lik ve 450 km. uzunluğunda olan alandır. Projenin başlamasıyla birlikte CBS çalışmaları da başlamıştır ve halen devam etmektedir. CBS veri tabanında havza illerinin tümüne ait; kompozit uydu görüntüleri, yollar ve yerleşim yerleri, mülki sınırlar, vejetasyon verileri, akarsular ve göller, sayısal yükseklik (eğim, bakı ve aydınlanma) verileri, toprak verileri (arazi kullanım kabiliyet sınıfları, büyük toprak grupları, erozyon durumu, diğer toprak özellikleri vs.), meteorolojik veriler bulunması düşünülmektedir. Bu bilgi katmanları güncellenmeye açıktır. Gerekğinde bu katmanlardan yeni veri katman bilgileri oluşturulabilmektedir (URL-6).

YHGP'den alınan haritalardan başka, Tokat Belediyesi'nden alınan bazı haritalar da gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra çalışmada kullanılmıştır. Haritaların çeşitleri, kaynakları ve ihtiyaç duyulan/yapılan dönüşümler aşağıda açıklanmaktadır.

Uygulama projesi olarak TÇY'nin seçilmiş olmasının bir diğer sebebi ise, güzergâh belirleme sürecinde yer verilmesi düşünülen pek çok kriterin gözlenebilmesine imkan vermesidir. Gerek projenin uzunluğu (yaklaşık 9 km), gerekse çalışma alanı içerisinde değişik arazi kullanım türleri (yerleşim, sanayi, ticaret, rekreasyon, vs.), değişik topoğrafya koşulları (düz-dalgalı-dağlık) ve değişik özellikli coğrafi varlıklar (yollar, nehirler, ormanlar, vs.) bulunması, uygulama projesi olarak seçilmesinde ve çok kriterli değerlendirme yapılmasında projeye avantaj sağlamıştır.

2.3.2. Uygulama Alanına Ait Haritalar ve Dönüşüm İşlemleri

Mevcut TÇY Projesi'ni de içeren, yaklaşık 340 km²'lik uygulama alanına ait haritaların büyük kısmı, YHGP çerçevesinde hazırlanan haritalardır. Shapefile (.shp) formatındaki bu haritalar şunlardır:

anayollar.shp
 arayollar.shp
 beldeler.shp
 koyler.shp
 iklim.shp
 yagis.shp
 irmaklar.shp
 kanallar.shp

sular.shp

toprak.shp

yukseklık.shp

IDRISI içerisindeki SHAPEIDR modülü kullanılarak IDRISI'ye aktarılan ve (.vct uzantılı) vektör dosyasına dönüşen bu haritalar, yine IDRISI içerisindeki RASTERVECTOR modülüyle de (.rst uzantılı) IDRISI raster dosyasına dönüştürülmüştür. Vektör dosyaları raster hale dönüştürürken, yatay ve düşey dznrlk 25 m olarak alınmıştır.

Ykseklık haritası kullanılarak dalışma alanının Sayısal Ykseklık Modeli (DEM) oluşturulmuşt (TINSURF modülüyle) ve DEM kullanılarak da eğim ve bakı dosyaları oluşturulmuştur (SURFACE modülüyle).

Bu haritalardan başka, Tokat iline ait imar ve jeoloji haritaları ile yapımı devam etmekte olan TY haritası Tokat Belediyesi'nden temin edilmiştır. Özellikle imar haritası, güzergâh tespiti sırasında göz önünde bulundurulması gereken pek dk kritere ilişkin bilgiyi bünyesinde barındırmaktadır. NETCAD yazılımıyla oluşturulmuşt olan (.ncz uzantılı) bu 3 dosyadaki haritaların dalışma alanını gösteren bölümleri kesildikten sonra, IDRISI yazılımının kullanılabileceği bir biçime dönüştürülmesi gerekmiştır. Bunu sağlamak için ya (.ncz) uzantılı dosyalar önce NETCAD içerisinde (.shp) uzantılı hale dnştrlp daha sonra yukarıdaki gibi (.rst) uzantılı hale getirilmeli, ya da;

- 1- .ncz uzantılı dosyalar NETCAD yazılımında açılarak .dxf formatında tekrar kaydedilmeli,
- 2- .dxf uzantılı dosyalar AUTOCAD yazılımında açılarak, dalışma alanına ait kısımlar kesilip .dxf uzantılı yeni bir dosya olarak kaydedilmeli,
- 3- .dxf uzantılı kesilmişt dosyalardaki dk sayıda katmandan, kullanılacak olanlar ayrı ayrı .dxf dosyaları olarak kaydedilmeli,
- 4- .dxf uzantılı katman dosyalarının her biri, IDRISI yazılımı içerisindeki DXFIDRIS modülü kullanılarak .vct uzantılı hale dönüştürülmeli,
- 5- .vct uzantılı dosyalar, RASTERVECTOR modülü kullanılarak .rst uzantılı hale getirilmelidir.

(.ncz) uzantılı dosyaları doğrudan (.shp) hale getirmek daha kolay gibi görünse de veri uyumsuzlukları oluşmasından dolayı bu dalışmada daha uzun ve karmaşık olan ikinci yol kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan haritaların kaynakları ve uygulanan dönüşüm işlemleri, Ek 2.'de verilmiştir.

2.3.3. Birinci Aşama

Bölüm 2.1'de belirtildiği gibi, birinci aşama kısıt haritalarının oluşturulduğu aşamadır. Bu projede birinci aşamada yer verilen tek kriter, “su kirliliği” kriteridir. Başka projelerde bunlardan başka kısıtlar da kullanılabilir ancak kısıtların değerlendirmeye alınış şekli aynı olacaktır.

2.3.3.1. Su Kirliliği Kriteri (1A)

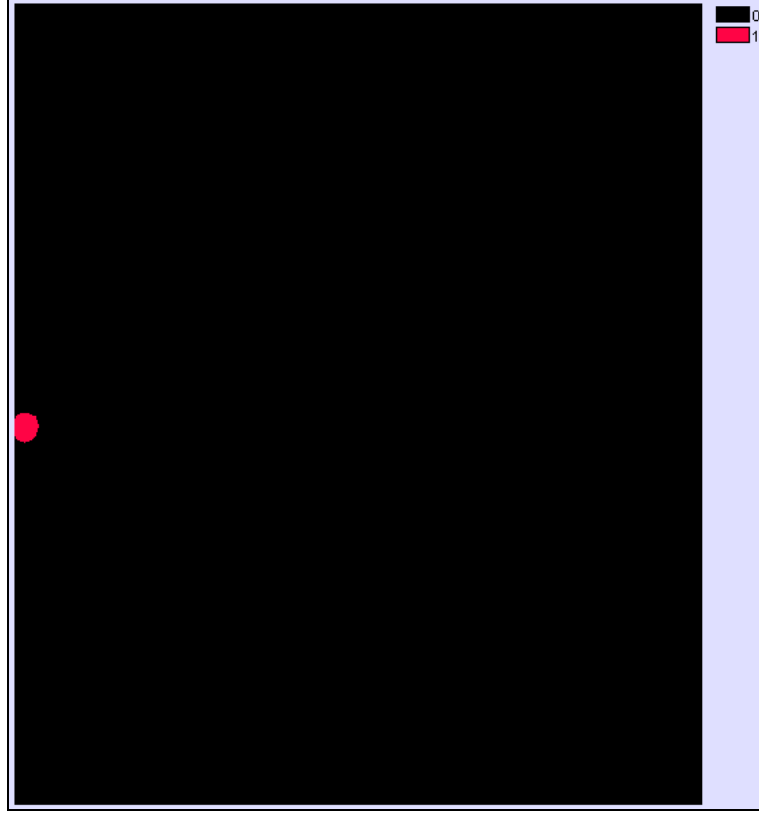
İçme suyu kaynağı olarak kullanılan yerlerin korunmasını sağlamak üzere bu yerlerin etrafına 250 m mesafeye kadar tampon bölge tanımlanmış (BUFFER) ve bu tampon bölgenin kullanılmasını engellemek için bu yerlere 1, kalan yerlere 0 değeri atanarak kısıt haritası oluşturulmuştur (Edit/ASSIGN). Oluşturulan kısıt haritası Şekil 23.'de görülmektedir.

Birinci aşamada oluşturulan bütün kısıt haritaları birleştirilerek (OVERLAY-Cover), kullanılması mümkün olmayan bütün alanları gösteren bir harita elde edilmelidir. Ancak; bu çalışmada sadece bir tane kısıt haritasına yer verildiğinden herhangi bir birleştirme işlemine gerek kalmamış, “su kirliliği” kısıt haritası, “1A” olarak isimlendirilerek ikinci aşamadaki kriter haritalarını maskelemeye kullanılmıştır.

2.3.4. İkinci Aşama

İkinci aşama, ÇKD kullanılarak güzergâh alternatiflerinin oluşturulduğu aşamadır. Bu aşamada sırasıyla şu işlemler yerine getirilmiştir:

- Kriterlerin belirlenmesi ve kriter haritalarının oluşturulması,
- Kriterlerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ve ağırlıklarının belirlenmesi,
- KG haritalarının oluşturulması,
- AMY'lerin oluşturulması ve
- Güzergâh alternatiflerinin belirlenmesi.



Şekil 23. Su kirliliği kısıt haritası (1A)

2.3.4.1. Kriterlerin Belirlenmesi ve Kriter Haritalarının Oluşturulması

Bu çalışmada yer verilecek kriterler geniş bir literatür taraması sonucu belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesi sırasında, özellikle çalışmanın birinci bölümünde yer alan “Güzergâh Belirleme Sürecinde Dikkate Alınması Gereken Kriterler” başlığı altında sıralanan prensiplere uyulmaya çalışılmıştır. Bu aşamada toplam 22 kritere yer verilmiştir. Gerek kriterlerin belirlenmesi, gerekse kriter haritalarının oluşturulması sırasında söz konusu yolun bir çevre yolu olduğu göz önünde tutulmuştur. Bazı kriterlerin bu çalışma alanında etkisi olmamış (örneğin yaban hayatını koruma kriteri gibi), ancak geliştirilen modelin uygulanacağı başka projelerde bu kriterlerin de etkili olabileceği düşünülerek modelde yer verilmiştir.

Modelde yer verilen kriterlerin haritalarının oluşturulması aşağıda kısaca açıklanmaktadır. Her kriter için, önce yapılan varsayımlar, benimsenen yaklaşım ve uygulanacak kurallar açıklanmış; bu kuralların uygulanması ve dolayısıyla haritanın

oluşturulması için kullanılan ilgili IDRISI modülleri ve modülde kullanılan değerler metin olarak veya tablo olarak verilmiş; en sonda da elde edilen kriter haritası gösterilmiştir.

2.3.4.1.1. Maliyet Kriteri (2A)

Bu kriter, temsili en zor olan kriterdir. Bu kriterin temsiliinde, KGM’de kullanılan maliyet belirleme yönteminden faydalanılmıştır. KGM her yıl, karayolu planlaması ve yapımı konusunda çeşitli güncel bilgileri ve çeşitli tabloları içeren kitaplar yayınlamaktadır. Bu çalışmada, KGM tarafından yayınlanan “Karayolu Planlaması Bilgileri El Kitabı” (2009) isimli kitabın Nisan 2009 yılında yayınlanan baskısındaki tablolardan faydalanılmıştır. Bu El Kitabı’nda; yol ağı ve ulaştırmayla ilgili istatistiksel bilgiler, ekonomik analiz bilgileri ve güncel maliyet bilgileri, kapasite analiz bilgileri, etüt ve proje – yapım – tesislerle ilgili bilgiler, bakım istatistikleri ve maliyet bilgileri, makine parkının durumuyla ilgili bilgiler, insan kaynakları ve eğitim durumu bilgileri, bütçe genel durumu bilgileri bulunmaktadır. Bu El Kitabı’ndaki değerler 2008 yılına ait değerlerdir, ancak, çalışmanın amacı açısından bu durum sorun yaratmayacaktır; zira, bütün hesaplamalarda aynı sene rakamları kullanılarak maliyetler hesaplanmış, bulunan maliyetler standardize edilmiş ve ondan sonra karşılaştırma yapılmıştır.

KGM’deki maliyet belirleme yönteminde, maliyetler temel olarak 4 çeşittir: yapım maliyetleri, köprü ve tünel maliyetleri, kamulaştırma maliyetleri ve yol kullanıcı maliyetleri.

Yapım Maliyetleri: Yapım maliyetleri; toprak işleri, sanat yapıları, etüt-proje ve üstyapı maliyetlerini içermekte, köprü-tünel yapımını içermemektedir. El Kitabı’nda, yol yapım maliyetiyle ilgili, düz-dalgı ve dağlık arazi tipleri için oluşturulmuş 3 adet tablo bulunmaktadır (Bölüm II-6, s. 29-30-31). Bu tabloları kullanabilmek için, yola ait Ağır Taşıt Trafığı, Uygulanacak Satıh Tipi ve Platform Genişliği değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada;

Ağır Taşıt Trafığı : 500-1500,

Uygulanacak Satıh Tipi : Asfalt Beton (Tip Enkesit 4-alt temel kalınlığı 20 cm),

Platform Genişliği : Bölünmüş Yol, olarak seçilmiştir.

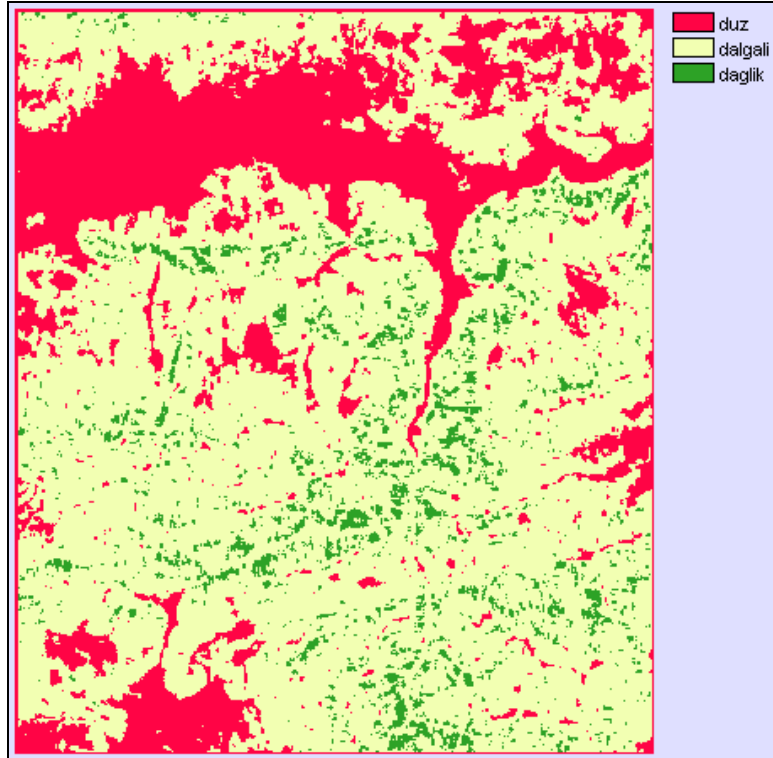
3 farklı tablodan, yukarıdaki kabullere uyan hücre değerleri birleştirilmiş ve aşağıdaki Tablo 5. oluşturulmuştur. Tabloda da belirtildiği gibi, verilen değerler vergiler hariç değerlerdir. Tablonun son sütunundaki değerler, km başına maliyetin, 25 m olan

harita çözünürlüğü de dikkate alınarak hücre başına maliyete çevrilmiş halidir (km başına maliyetler 1000 ile bölünerek m başına maliyetler elde edilmiş; bu değer 25 ile çarpılarak 25 m için, yani hücre başına maliyetler bulunmuş; işlem ve gösterim kolaylığı olması için bu değerler 1000'e bölünmüştür). Haritalara atanacak olan değerler bu değerlerdir.

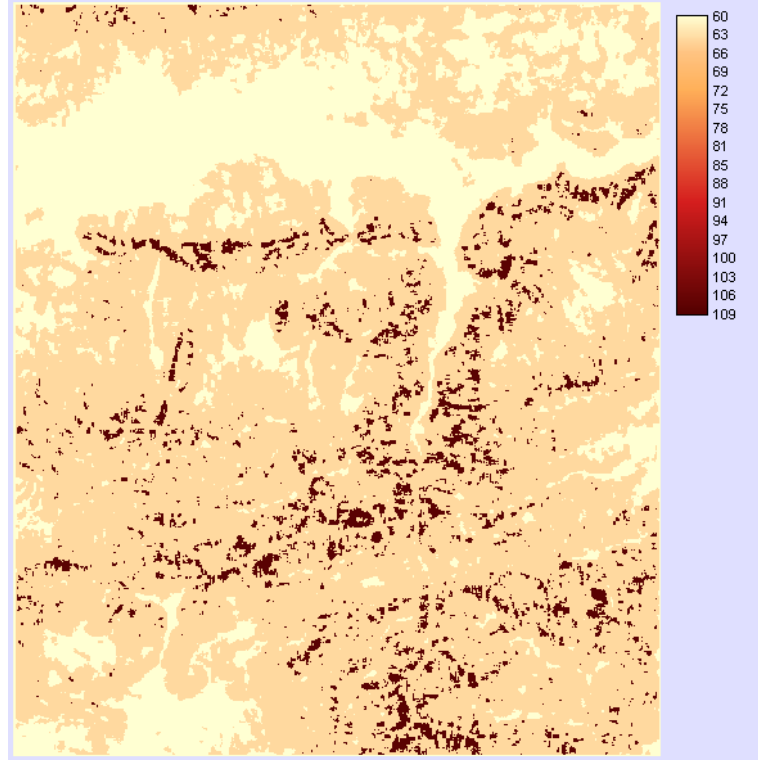
Tablo 5. Yol yapım maliyetleri (vergiler hariç-2008 yılı için)

Arazi Tipi	Maliyet (TL/km)	Maliyet (1000 TL/hücre)
Düz	2.414.139	60,3
Dalgalı	2.564.764	64,2
Dağlık	4.340.325	108,5

Yukarıdaki tabloyu harita haline dönüştürebilmek için, PATTERN ve RECLASS modülleri kullanılarak arazi tipini temsil edebileceğimiz bir dalgallılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 24.). 3 sınıftan (düz-dalgalı-dağlık) oluşan dalgallılık haritası, ilgili sınıflara yukarıdaki tablodaki değerler atanarak (Edit/ASSIGN) “yapım maliyetleri” haritasına dönüştürülmüştür (Şekil 25.).



Şekil 24. Çalışma alanına ait dalgallılık haritası

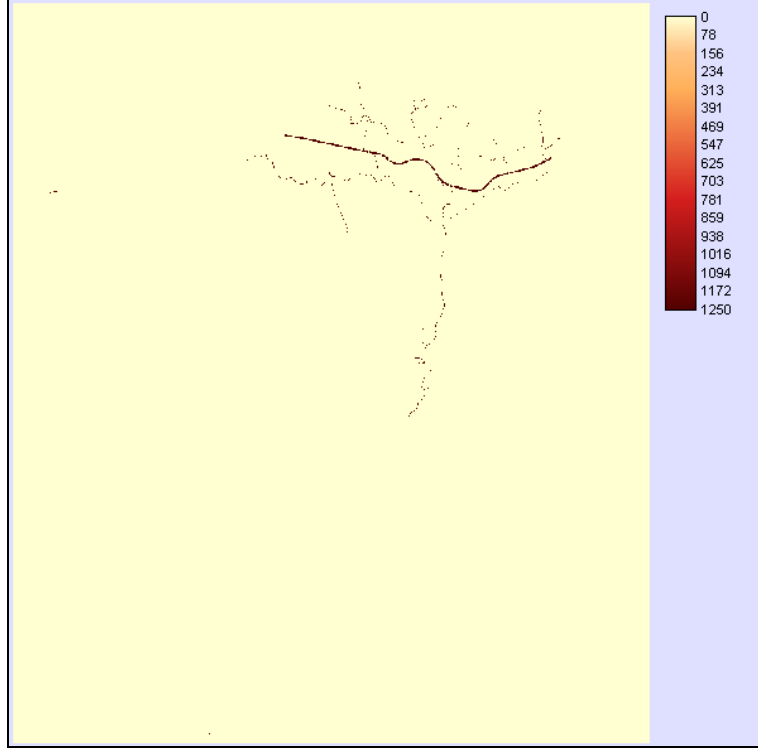


Şekil 25. Çalışma alanına ait yol yapım maliyetleri haritası

Köprü-tünel maliyetleri: El Kitabı’nda köprü ve tüneller için birim maliyet değerleri verilmiştir (Bölüm IV-1, s. 43). Bu çalışmada, arazi kullanım haritasında “kanallar ve ırmaklar” ve “anayollar” sınıflarında bulunan hücrelerden geçilmesi durumunda köprü yapılması gerekeceği varsayımından hareketle, bu sınıflara ait yerlere, Tablo 6.’daki “öngerilmeli, basit giriş kazıklı temel” satırındaki (TL/hücre) değeri olan 1250 atanmıştır (hücre başına maliyet değerleri bulunurken; m başına maliyetler 25 ile çarpılarak 25 m için, yani hücre başına maliyetler bulunmuş; işlem ve gösterim kolaylığı olması için bu değerler 1000 ile bölünmüştür). El Kitabı’ndaki tablodaki değerler 12 m platform genişliği için, yani tek yön için verildiğinden, Tablo 6. oluşturulurken, bölünmüş yolun iki yönünü temsil etmek için El Kitabı’ndaki tablodaki değerler 2 ile çarpılarak kullanılmıştır. Oluşan harita, Şekil 26.’da görülmektedir. Çalışmada tüneller dikkate alınamamıştır.

Tablo 6. Ortalama köprü maliyetleri (2008 yılı için)

	Ortalama Köprü Maliyeti -(TL/m)	Ortalama Köprü Maliyeti -(TL/hücre)
Öngerilmeli, basit kiriş yüzeysel temel	40 000	1000
Öngerilmeli, basit kiriş kazıklı temel	50 000	1250



Şekil 26. Çalışma alanına ait köprü maliyetleri haritası

Kamulaştırma maliyetleri: Kamulaştırma için gerçek arazi değerlerinin kullanılması daha gerçekçi bir yöntem olsa da bu veriye ulaşma imkanı bulunamamıştır. Bunun yerine, El Kitabı'ndaki, kamulaştırmayla ilgili tablo kullanılmıştır (Bölüm IV-4, s. 45). Bu tabloda, yol sınıfları (otoyol-devlet yolu-il yolu) için kamulaştırma genişlikleri ve kırsal-kentsel-metropol alanlarda kamulaştırma maliyetleri verilmiştir. Her ne kadar bu tabloda devlet yolları için verilen kamulaştırma genişliği 50 m ise de, ele alınan projenin bölünmüş bir yol olması ve kamulaştırma genişliği olarak 50 m kullanılmasının yetersiz kalacağı düşünülerek, tabloda otoyollar için tanımlanmış olan 100 m kamulaştırma genişliğinin kullanılmasının daha doğru olacağına karar verilmiştir. Tablo'da (TL/m²) cinsinden verilen kamulaştırma maliyetleri 100 ile çarpılarak (TL/m) cinsinden kamulaştırma

maliyetleri elde edilmiştir. Daha sonra bu değerler çözünürlük dikkate alınarak (TL/hücre) birimine dönüştürülmüşlerdir (m başına maliyetler 25 ile çarpılarak 25 m için, yani hücre başına maliyetler bulunmuş; işlem ve gösterim kolaylığı olması için bu değerler 1000 ile bölünmüştür). Ortaya çıkan değerler aşağıdaki Tablo 7.'de verilmiştir.

Tablo 7. Kamulaştırma maliyetleri (2008 yılı için)

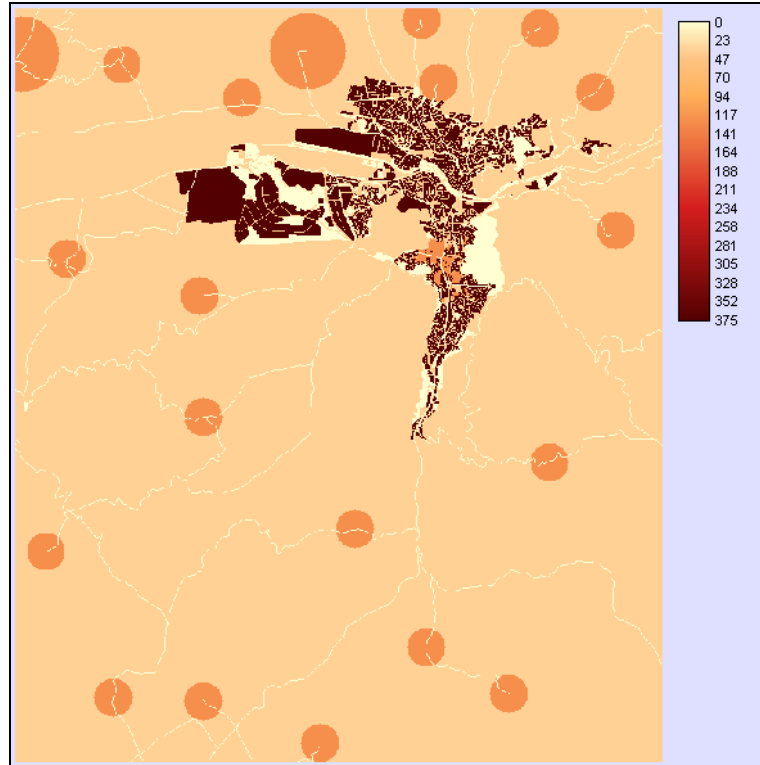
Devlet yolu-Kamulaştırma genişliği (100 m)	Kırsal	Kentsel	Metropol
Kamulaştırma maliyeti/1000 (TL/m ²)	15	50	150
Kamulaştırma maliyeti/1000 (TL/m)	1500	5000	15000
Kullanılan değerler (TL/piksel)	36,50	125	375

Sonraki adım olarak, yukarıdaki tabloda gösterilen değerler, “arazi kullanım” haritası vasıtasıyla çalışma alanındaki ilgili sınıflara atanmış (Edit/ASSIGN) ve böylece “kamulaştırma maliyeti” haritası oluşturulmuştur (Şekil 27.). “Arazi kullanım” haritasında:

- konut alanları, sanayi alanları, ticaret alanları ve özel (askeri, resmi, sağlık, eğitim, dini, turistik) alanlar “metropol alan” olarak nitelenerek en yüksek maliyeti (375) almış;
- belgeler ve köyler ile sit alanları “kentsel alan” olarak değerlendirilmiş (maliyet = 125);
- orman alanları, park alanları, su alanları, anayollar, arayollar, kanallar ve ırmaklar sıfır maliyet almış;
- tarım alanları ve geriye kalan alanlar ise “kırsal alan” olarak değerlendirilmiştir (maliyet = 36,50).

Yol kullanıcı maliyetleri: El Kitabı’nda bulunan “Yol Kullanıcı Giderleri Tablosu” (Bölüm II-3, s. 15), Taşıt İşletme Giderleri ve Yolcu Zaman Giderleri’nin toplamını gösterir ve birimi (TL/taşıt-km)’dir. Tabloyu kullanabilmek için, Kaplama Cinsi ve dolayısıyla ilgili R (Yüzey Düzgünsüzlüğü-m/km) değerinin belirlenmesi gerekmektedir (düşük R tercih sebebidir, Tablo’daki en düşük R değeri 1,5’dir). Bu çalışmada, kaplama cinsi olarak “Beton Asfalt- R=2” seçilmiştir (Tablo 8.). Tabloda, otomobil, otobüs, kamyon ve treyler için maliyetler, (%) cinsinden ortalama düşey eğime (1-3-5) göre ayrı sütunlarda verilmiştir. Tablodaki değerler (TL/taşıt-km) cinsinden olduğu için, (TL) cinsinden

malİYETleri bulmak için, her araç sınıfı için “taşıt-km” değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bunun içinse, yoldaki tahmin edilen Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerlerini ve trafik kompozisyonunu bilmek gereklidir.



Şekil 27. Çalışma alanına ait kamulaştırma maliyetleri haritası

Tablo 8. “Beton Asfalt-R=2” için yol kullanıcı maliyetleri (2008 yılı için)

KAPLAMA CİNSİ	ORT. DÜŞ. EĞİM (%)	ORT. YATAY KURB (DERECE/KM)	Yol Kullanıcı Maliyetleri (TL/taşıt-km)			
			OTOMOBİL	OTOBÜS	KAMYON	TREYLER
BETON	1	15	0,36496	2,91812	0,78907	0,95975
ASFALT- R=2	3	75	0,36844	2,99675	0,84391	1,19673
	5	300	0,39807	3,52025	1,03945	1,67842

Yapılan işlemler adım adım şöyledir:

- İlk yıl için YOGT miktarı, bölgedeki diğer yollardaki değerlerden yola çıkarak 6000 (taşıt/gün) olarak tahmin edilmiştir.
- Trafik her yıl %1 kadar artacağı varsayımıyla 20 yıl için YOGT hesaplamaları yapılmıştır (taşıt/gün). YOGT'nin, KGM 7. Bölge'deki ortalama trafik kompozisyonuna göre paylaştırılmasıyla 20 yıl boyunca "her araç sınıfı için YOGT değerleri" de bulunmuştur (taşıt/gün/araç sınıfı) (Tablo 9.).

Tablo 9. 20 yıl boyunca araç sınıfları için YOGT değerleri

Yıl	YOGT (Taşıt/Gün/Araç Sınıfı)				YOGT (Toplam)
	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler	
2011	4.483	191	901	425	6.000
2012	4.528	193	910	429	6.060
2013	4.574	195	919	433	6.121
2014	4.619	197	928	438	6.182
2015	4.665	199	938	442	6.244
2016	4.712	201	947	446	6.306
2017	4.759	203	957	451	6.369
2018	4.807	205	966	455	6.433
2019	4.855	207	976	460	6.497
2020	4.903	209	986	464	6.562
2021	4.952	211	995	469	6.628
2022	5.002	213	1.005	474	6.694
2023	5.052	215	1.015	478	6.761
2024	5.103	217	1.026	483	6.829
2025	5.154	219	1.036	488	6.897
2026	5.205	221	1.046	493	6.966
2027	5.257	224	1.057	498	7.035
2028	5.310	226	1.067	503	7.106
2029	5.363	228	1.078	508	7.177
2030	5.416	230	1.089	513	7.249

- 20 yıl boyunca, her araç sınıfı için hesaplanan YOGT değerleri, Tablo 8.'deki ilgili maliyet değerleriyle çarpılmıştır (TL/gün-km/araç sınıfı). Çalışmada ortalama düşey eğim değeri olarak her yerde % 3 kullanılmıştır (Tablo 10.)

Tablo 10. 20 yıl boyunca araç sınıfları için yol kullanıcı maliyetleri (% 3 düşey eğim için)

Yıl	% 3 Düşey Eğim İçin Yol Kullanıcı Maliyetleri (TL/gün-km /araç sınıfı)			
	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler
2011	1.651,87	571,74	760,49	508,17
2012	1.668,39	577,45	768,10	513,26
2013	1.685,08	583,23	775,78	518,39
2014	1.701,93	589,06	783,53	523,57
2015	1.718,95	594,95	791,37	528,81
2016	1.736,14	600,90	799,28	534,10
2017	1.753,50	606,91	807,28	539,44
2018	1.771,03	612,98	815,35	544,83
2019	1.788,74	619,11	823,50	550,28
2020	1.806,63	625,30	831,74	555,78
2021	1.824,70	631,55	840,05	561,34
2022	1.842,94	637,87	848,45	566,95
2023	1.861,37	644,25	856,94	572,62
2024	1.879,99	650,69	865,51	578,35
2025	1.898,79	657,19	874,16	584,13
2026	1.917,77	663,77	882,91	589,97
2027	1.936,95	670,40	891,73	595,87
2028	1.956,32	677,11	900,65	601,83
2029	1.975,89	683,88	909,66	607,85
2030	1.995,64	690,72	918,75	613,93

- Önceki adımdaki değerler 365 (gün/yıl) ile çarpılmış ve (TL/yıl-km/araç sınıfı) cinsinden maliyet değerleri bulunmuştur. Bu değerler 20 yıl için toplanmış ve 20 yıl için maliyetler (TL/km) cinsinden bulunmuştur (Tablo 11.).

Tablo 11. 20 yıl için toplam yol kullanıcı maliyetleri (%3 düşey eğim için)

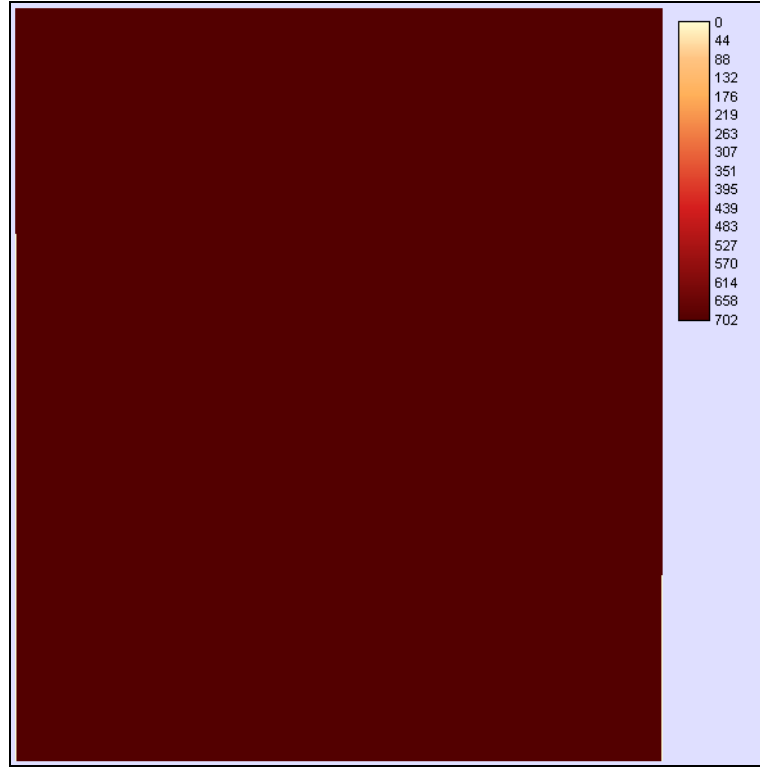
Yıl	% 3 Düşey Eğim İçin Yol Kullanıcı Maliyetleri (TL/yıl-km/araç sınıfı)			
	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler
2011	602.934	208.683	277.579	185.484
2012	608.963	210.770	280.355	187.338
2013	615.053	212.878	283.158	189.212
2014	621.204	215.007	285.990	191.104
2015	627.416	217.157	288.850	193.015
2016	633.690	219.328	291.738	194.945
2017	640.027	221.522	294.656	196.895
2018	646.427	223.737	297.602	198.864
2019	652.891	225.974	300.578	200.852
2020	659.420	228.234	303.584	202.861
2021	666.014	230.516	306.620	204.889
2022	672.675	232.821	309.686	206.938
2023	679.401	235.150	312.783	209.008
2024	686.195	237.501	315.911	211.098
2025	693.057	239.876	319.070	213.209
2026	699.988	242.275	322.260	215.341
2027	706.988	244.698	325.483	217.494
2028	714.058	247.145	328.738	219.669
2029	721.198	249.616	332.025	221.866
2030	728.410	252.112	335.346	224.084
20 yıl toplamı	13.276.009	4.594.999	6.112.011	4.084.165
20 yıl için yol kullanıcı mal. (TL/km)	28.067.184			

- Bulunan değerler Tablo 12.'de verilmiştir. Hücre başına maliyetlerin hesaplanmasında; km başına maliyetler 1000 ile bölünerek m başına maliyetler elde edilmiş; bu değer 25 ile çarpılarak 25 m için, yani hücre başına maliyetler bulunmuş; işlem ve gösterim kolaylığı olması için bu değerler 1000 ile bölünmüştür.

Tablo 12. 20 yıl için yol kullanıcı maliyetleri (bütün eğimler için)

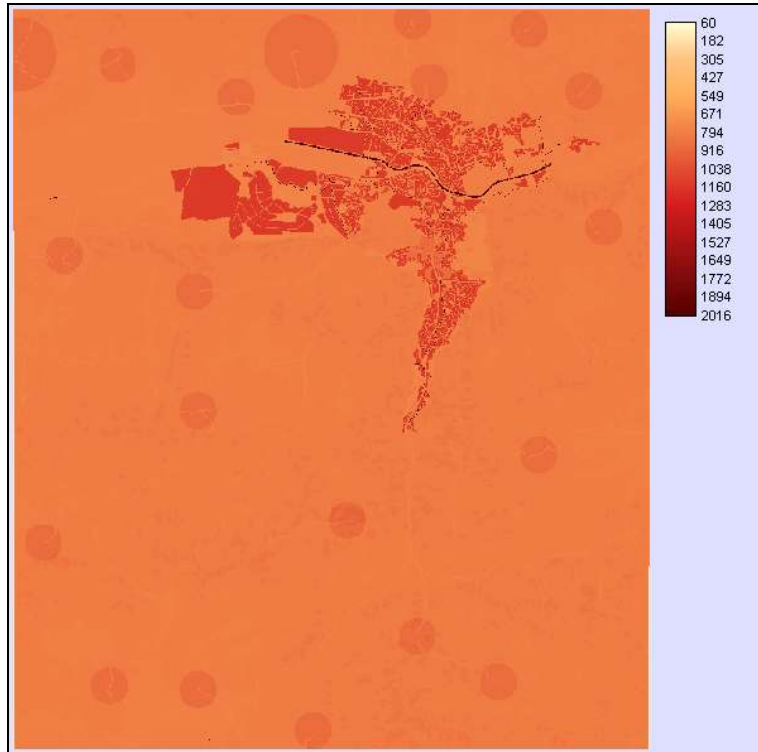
Ort. düşey eğim	20 yıl için yol kullanıcı giderleri (TL/km)	20 yıl için yol kullanıcı giderleri (TL/m)	20 yıl için yol kullanıcı giderleri (TL/hücre)
1	26.615.287	26.615	665
3	28.067.184	28.067	702
5	32.997.634	32.997	775

Bu tabloya göre, çalışma alanının her yerinde % 3 boyuna eğim bulunduğu varsayıldığından, “yol kullanıcı maliyetleri”, her hücreye 702 değerinin atandığı bir haritayla temsil edilmiştir (Şekil 28.). Her ne kadar her hücreye aynı atanmışsa da, bu durum yol kullanıcı maliyetlerinin güzergah seçimini etkilemediği anlamına gelmemektedir: Zira, uzunluğu daha fazla olan güzergah alternatifinin daha fazla hücreden geçeceği ve böylece daha fazla toplam “yol kullanıcı maliyeti”ne sahip olacağı ortadadır.

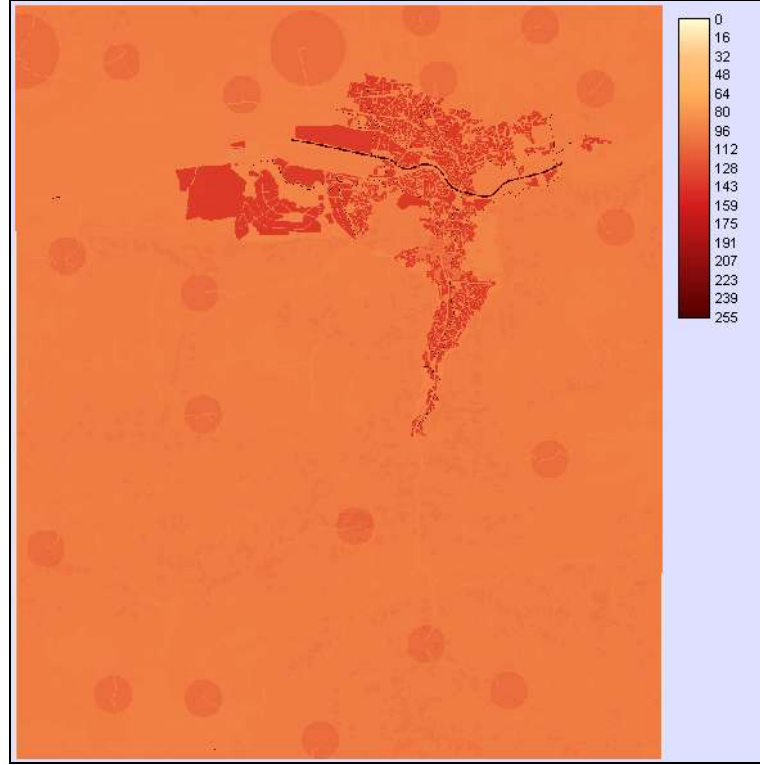


Şekil 28. Çalışma alanına ait yol kullanıcı maliyetleri haritası

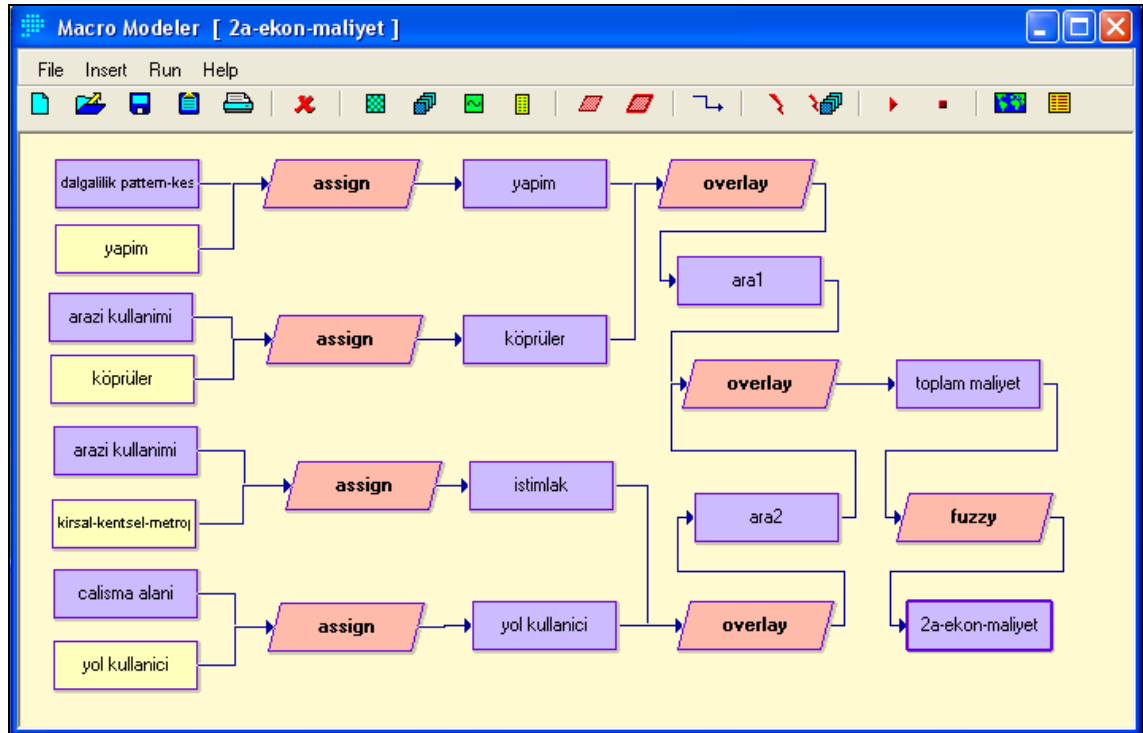
En sonda, oluşan 4 harita (yapım, köprü, kamulaştırma, yol kullanıcı) birleştirip (OVERLAY-Add) tek bir “maliyet haritası” elde edilmiştir (şekil 29). Bu harita da, FUZZY ile doğrusal olarak ($a = 60$, $b = c = d = 2016$ sınır değerleriyle) standardize edilmiştir (şekil 30.). Sınır değerler için, toplam maliyet haritasındaki minimum ve maksimum maliyet değerleri kullanılmış, yani doğrusal ölçü transformasyonu yöntemi uygulanmıştır. Yapılan işlemler için oluşturulan model, aşağıda şekil 31.’de gösterilmiştir. Bu çalışmada her kriterin standardizasyonu için Macro Modeler yardımıyla bir model oluşturulmuştur. Ancak bütün kriterler için oluşturulan modeller gösterilmemiş, örnek olması açısından sadece bu kriterin modeli verilmiştir.



şekil 29. Çalışma alanına ait toplam maliyet haritası



Şekil 30. Maliyet kriteri haritası (2A)



Şekil 31. Maliyet kriterinin standardizasyonu için oluşturulan model

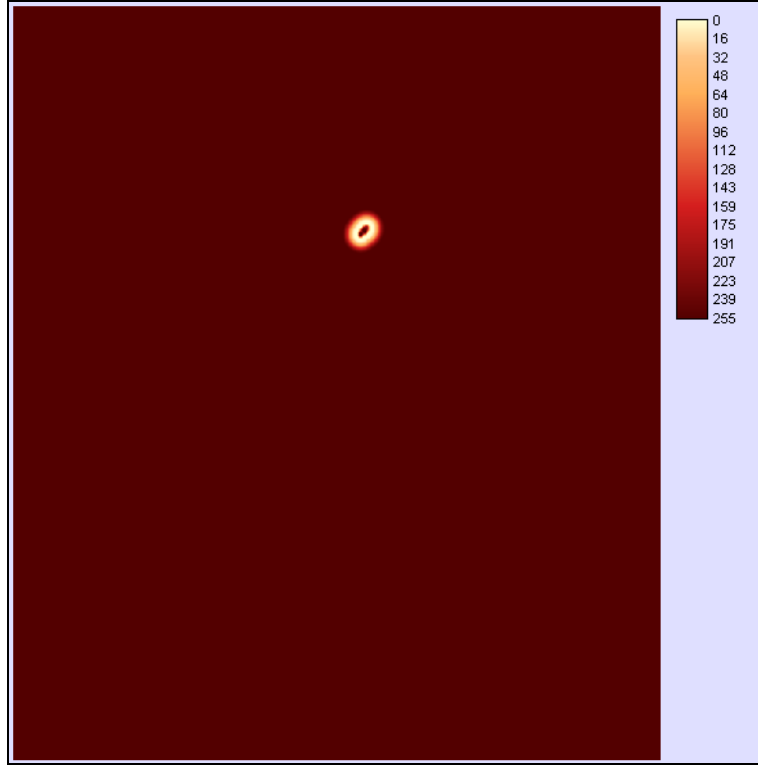
2.3.4.1.2. Turizm Gelişimine Katkı Kriteri (2A)

Karayolları, ulaşım kolaylığı sağlayarak turizm gelişimine büyük katkı sağlayabilen altyapılardır. Dolayısıyla karayolu güzergâhlarının turizm ve potansiyel turizm alanlarına yakın geçirilmesi istenen bir durumdur. Ancak, karayolu güzergâhları geçirilirken turizm alanlarının kendisinin ve hemen yakınındaki potansiyel genişleme alanlarının korunması da şarttır. Bu değerlendirmeler ışığında, turizm gelişimine katkı kriterinin haritası oluşturulurken şu kurallar uygulanmıştır (DISTANCE, FUZZY):

Turizm alanlarının kendisinin maliyeti = 255 (maksimum maliyet)

- 0'dan 100 m'ye kadar maliyet lineer azalmakta (100m'de maliyet = 0)
- 100-150 m. arasında maliyet = 0
- 150-500 m. arası maliyet lineer artmakta (500 m'de maliyet = 255).
- 500 m'den sonra maliyet = 255

Bu kuralların uygulanması sonucu elde edilen kriter haritası Şekil 32.'de gösterilmiştir.



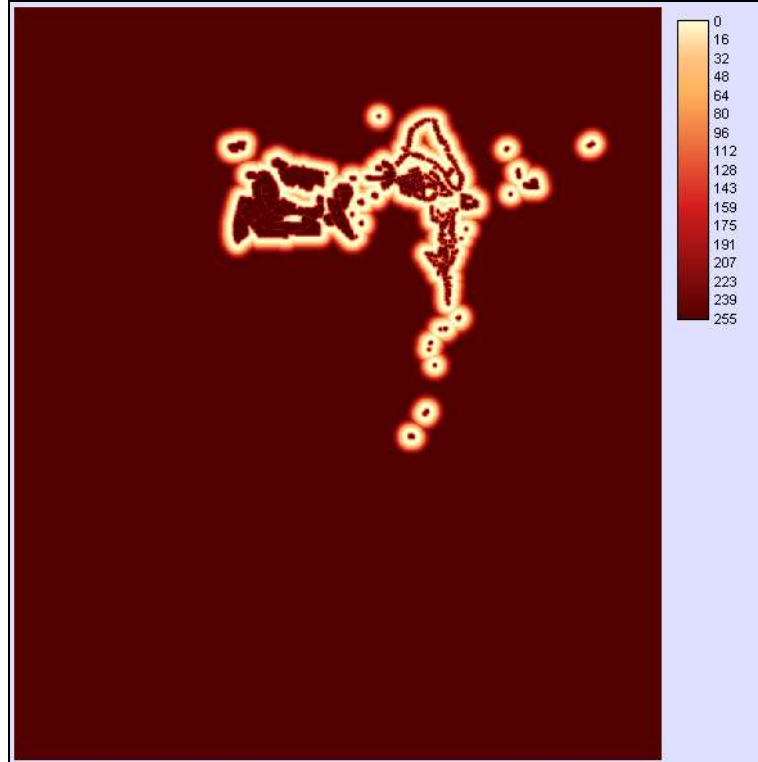
Şekil 32. Turizm gelişimine katkı kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.3. Ticaret ve Sanayi Gelişimine Katkı Kriteri (2A)

Ticaret ve sanayinin gelişimi için karayolları olmazsa olmazlardandır. Dolayısıyla karayolu güzergâhlarının ticaret ve sanayi alanlarına yakın geçirilmesi istenen bir durumdur. Ancak, karayolu güzergâhları geçirilirken ticaret ve sanayi alanlarının kendilerinin ve hemen yakınındaki potansiyel genişleme alanlarının korunması da şarttır.

Bu değerlendirmeler ışığında, ticaret ve sanayi gelişimine katkı kriterinin haritası oluşturulurken aşağıdaki kurallar uygulanmış (DISTANCE, FUZZY) ve Şekil 33.'deki harita elde edilmiştir:

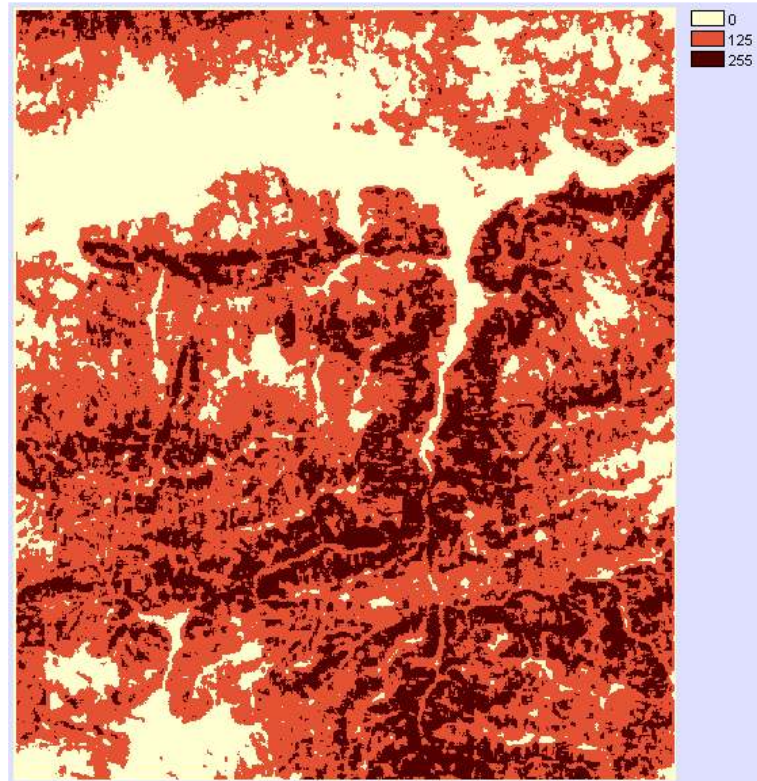
- Ticaret ve sanayi alanlarının maliyeti = 255 (maksimum maliyet)
- 0'dan 100 m'ye kadar maliyet lineer azalmakta (100m'de maliyet = 0)
- 100-150 m arasında maliyet = 0
- 150-500 m arası maliyet lineer artmakta (500 m'de maliyet = 255).
- 500 m'den sonra maliyet = 255



Şekil 33. Ticaret ve sanayi gelişimine katkı kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.4. Topoğrafya Kriteri (2A)

Karayolları planlanırken bazı geometrik standartlara (proje hızı, minimum kurp yarıçapı, maksimum boyuna eğim, düşey kurp katsayısı, maksimum dever, şerit genişliği, banket genişliği, vb.) uyulması gerekmektedir. Geometrik standartların uygulanmasını en yakından etkileyen unsur ise arazinin topoğrafyasıdır: dağlık arazide yüksek geometrik standartlar (büyük kurp yarıçapları, düşük boyuna eğim, vb.) uygulamak zorken, düz arazide nispeten kolaydır. Dolayısıyla, arazinin topoğrafyası da güzergah belirleme aşamasında dikkate alınmalı ve mümkün oldukça dağlık arazilerden kaçınılmalıdır. Bu bağlamda, topoğrafya kriterinin temsili için önce çalışma alanına ait topoğrafya haritası oluşturulmuş (PATTERN), bu 3 sınıflı topoğrafya haritasında; düz alanlara 0 maliyet, dalgalı alanlara 125 maliyet ve dağlık alanlara 255 maliyet atanmıştır (RECLASS). Elde edilen kriter haritası Şekil 34’de görülmektedir.



Şekil 34. Topoğrafya kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.5. Jeolojik Yapı Kriteri (2A)

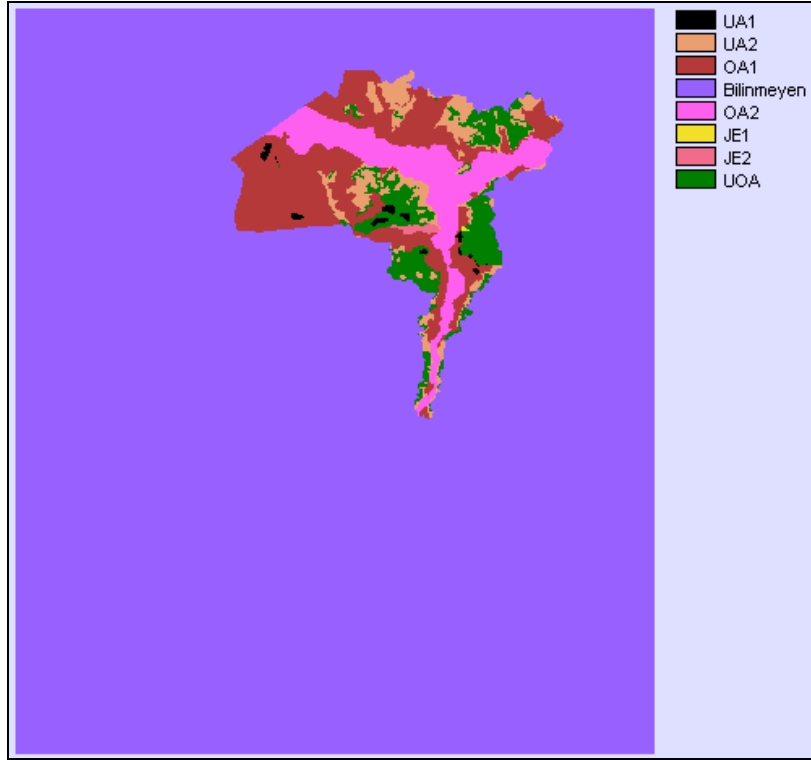
Yolun geçeceği arazinin jeolojik yapısı, hem yapım maliyetlerini etkileyen, hem de kullanım süresi boyunca yolun performansını etkileyen çok önemli bir kriterdir. Bu kriterin temsili için, Tokat Belediyesi'nden (.ncz) formatında temin edilen ve gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra (.rst) olarak elde edilen jeoloji haritası kullanılmıştır.

Bu haritada 8 sınıf bulunmaktadır. Bu sınıflar ve uygulanan standardizasyon değerleri aşağıdaki Tablo 13.'de verilmiştir.

Tablo 13. Jeolojik sınıflar ve standardizasyon değerleri

Jeolojik sınıf	Standardizasyon değeri
UA1-Uygun Alanlar 1	0
UA2-Uygun Alanlar 2	50
OA1- Önlemlili Alanlar 1	100
OA2-Önlemlili Alanlar 2	150
JE1-Jeoteknik Etüt Şartlı Alanlar 1	200
JE2-Jeoteknik Etüt Şartlı Alanlar 2	250
UOA-Uygun Olmayan Alanlar	255
Bilinmeyen	125

Jeolojik sınıflara maliyet değerlerinin atanmasından (Edit/ASSIGN) ibaret olan bu kriterin standardizasyonu sonucu oluşan sınıflı harita Şekil 35.'de görülmektedir.



Şekil 35. Jeoloji kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.6. Yapı Güvenliği Kriteri (2A)

Yapı güvenliği kriterinin içerisinde deprem, heyelan, dalga, vb. bütün doğal afetlere yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ancak; mevcut çalışma alanında deniz olmadığı için dalga unsuru dikkate alınmamış, çalışma alanına ait fay fatları haritası temin edilemediğinden ve bütün çalışma alanının aynı deprem bölgesine (1. Sınıf deprem bölgesi) girdiği bilindiği için de deprem unsuru dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada yapı güvenliği kriteri altında yalnızca heyelan unsuruna yer verilmiştir.

Heyelan: Çalışmanın başında çalışma alanı için hazırlanmış bir heyelan duyarlılık haritası bulunabileceği düşünülmekteydi. Ancak böyle bir harita bulmak mümkün olmamıştır. Bu sebeple, basit de olsa bir heyelan risk haritası oluşturma ihtiyacı duyulmuştur. Literatürdeki yayınlara bakıldığında, heyelan konusundaki en önemli etkenlerin eğim, jeolojik yapı ve bitki örtüsü olduğu görülmüştür (Sadek vd., 1999; Neaupane ve Piantanakulchai, 2006). Bu çalışmada da eğim, jeoloji ve orman haritaları kullanılarak bir heyelan risk haritası oluşturulmaya çalışılmıştır. Heyelan risk haritası oluşturmak için yapılan işlemler ve yapılan kabuller şunlardır:

- Yüksek eğimli yerlerde heyelan riskinin daha fazla olduğu gerçeğinden hareketle, derece cinsinden eğim haritası 3 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 14.).

Tablo 14. Eğim için sınıflı standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında)

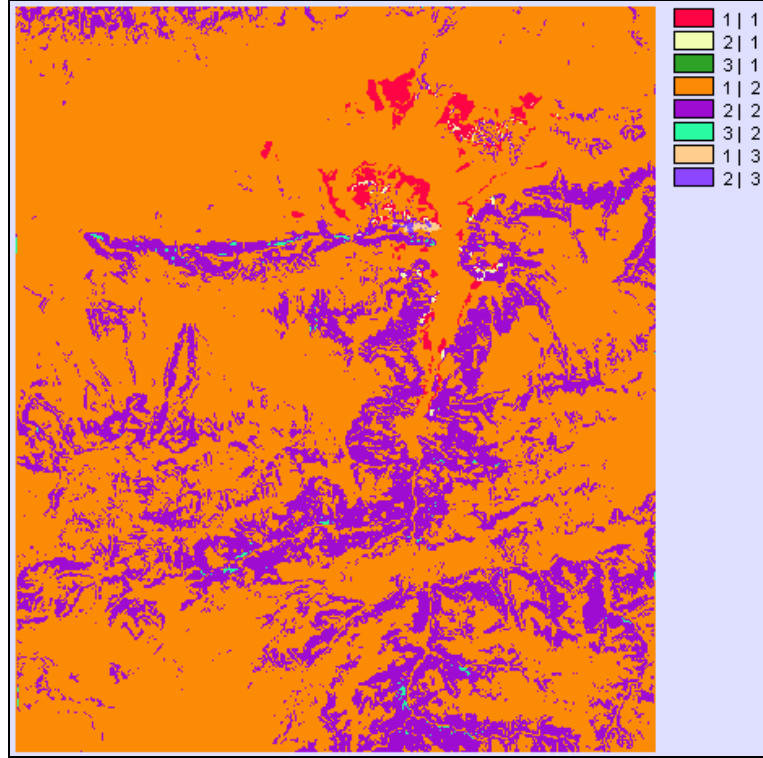
Sınıf	Eğim aralığı (°)
1	0-20
2	20-40
3	> 40

- Jeoloji haritası da, heyelana yatkınlığına göre benzer şekilde 3 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 15.):

Tablo 15. Jeoloji için sınıflı standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında)

Sınıf	Jeolojik sınıf
1	UA1, UA2
2	JE1, JE2, OA1,OA2, Bilinmeyen
3	UOA

- Bu iki harita CROSSTAB (çarpraz tablolama) modülü kullanılarak birleştirilmiştir (Şekil 36.).
- Ortaya çıkan harita 0-255 ölçeğinde standardize edilmiştir (Edit/ASSIGN). Bu standardizasyonda; hem eğimi yüksek hem de UOA jeoloji sınıfında olan yerler en yüksek standardizasyon değerini (255), hem eğimi düşük hem de UA1 ve UA2 jeoloji sınıflarında olan yerler ise en düşük standardizasyon değerini (0) almışlardır (Tablo 16.). Diğer yerler ise arada değerler almışlardır.

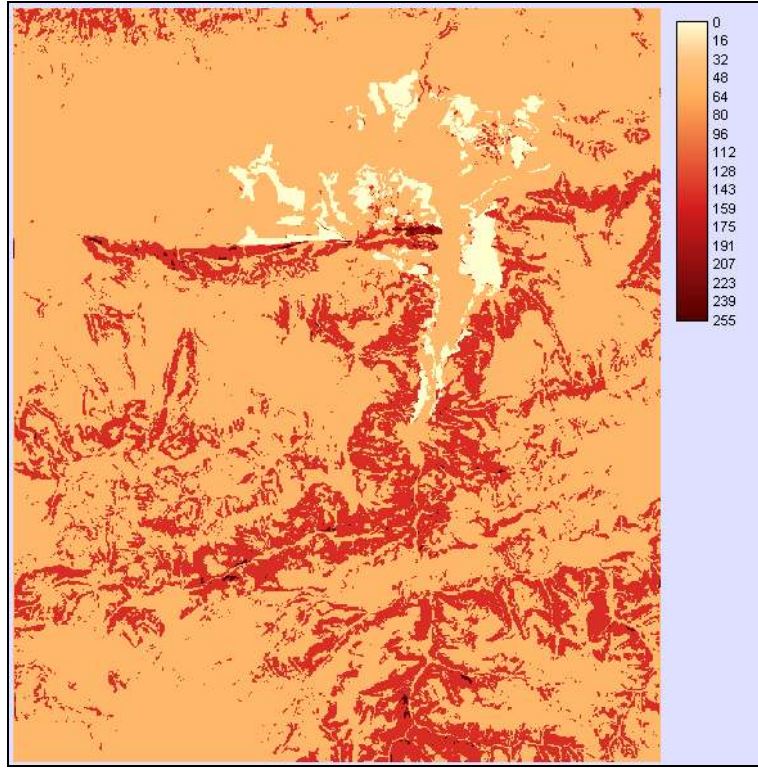


Şekil 36. “Eğim (CROSSTAB) Jeoloji” haritası (heyelan bağlamında)

Tablo 16. “Eğim (CROSSTAB) Jeoloji” haritası için standardizasyon değerleri (heyelan bağlamında)

Sınıf No	Sınıf	Standardizasyon değeri
1	1 1	0
2	2 1	25
3	3 1	100
4	1 2	50
5	2 2	150
6	3 2	255
7	1 3	200
8	2 3	240

- Ormanlık alanlarda heyelan riskinin az olacağı düşünülerek; ormanlık alanların 0, diğer yerlerin 1 değerini aldığı harita, standardize edilmiş “Eğim (CROSSTAB) Jeoloji” haritası ile çarpılmıştır (OVERLAY-Multiply). Ortaya çıkan heyelan risk haritası Şekil 37.’de görülmektedir. Bu harita aynı zamanda yapı güvenliği kriter haritasıdır.



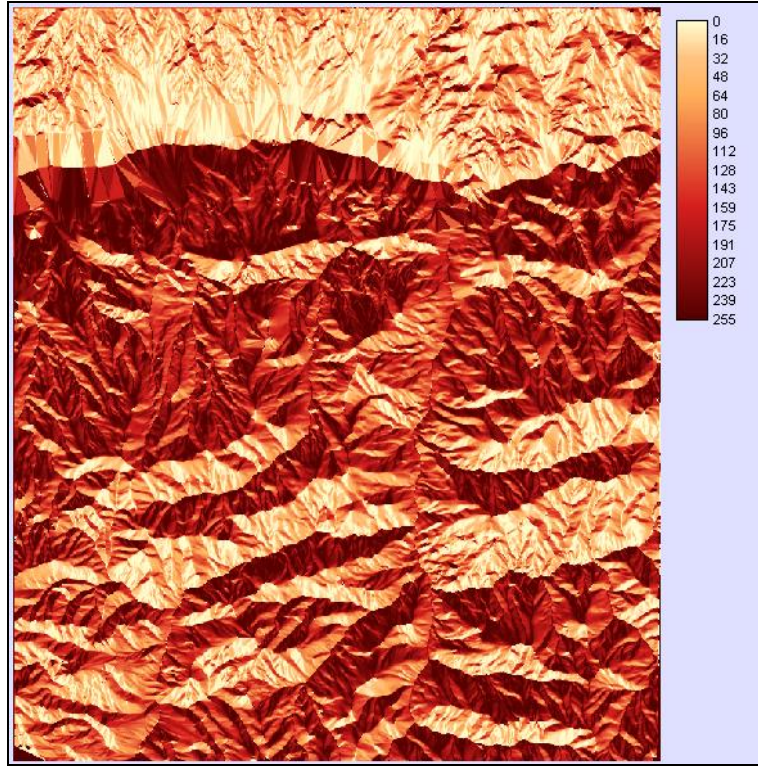
Şekil 37. Yapı güvenliği kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.7. Bakı ve İklim Koşulları Kriteri (2A)

İklim koşulları ve bakı, karayollarının yapım aşamasını zorlaştırabileceği gibi, yolun kullanım ömrü boyunca bakım işlerini de zorlaştırabilir, yolun performansını düşürebilir ve yol kullanıcılarının şikayetlerini artırabilir. Bu sebeple, güzergâh belirlenirken iklim koşulları ve bakıya da dikkat etmek gerekir.

Bakı: Bakı, “her yörede, özellikle dağlık yörelerde bir yamacın güneş ışınlarına, güneye ya da kuzeye karşı konumunu belirleyen, bunun sonucu olarak da doğal koşullarını saptayan durumu” demektir. IDRISI’de DEM haritası ve SURFACE modülü kullanılarak bakı haritası kolayca elde edilebilmektedir. Bakı haritası 0-360⁰ arasındaki değerler içermektedir. 0⁰ kuzeyi, 180⁰ güneyi göstermektedir. Genel olarak güney bakılı yerler kuzey bakılı yerlere tercih edilir. Bu bağlamda, bakı haritasının standardizasyonunda aşağıdaki kurallar uygulanmış (FUZZY, OVERLAY-Add) ve Şekil 38.’deki harita oluşturulmuştur.

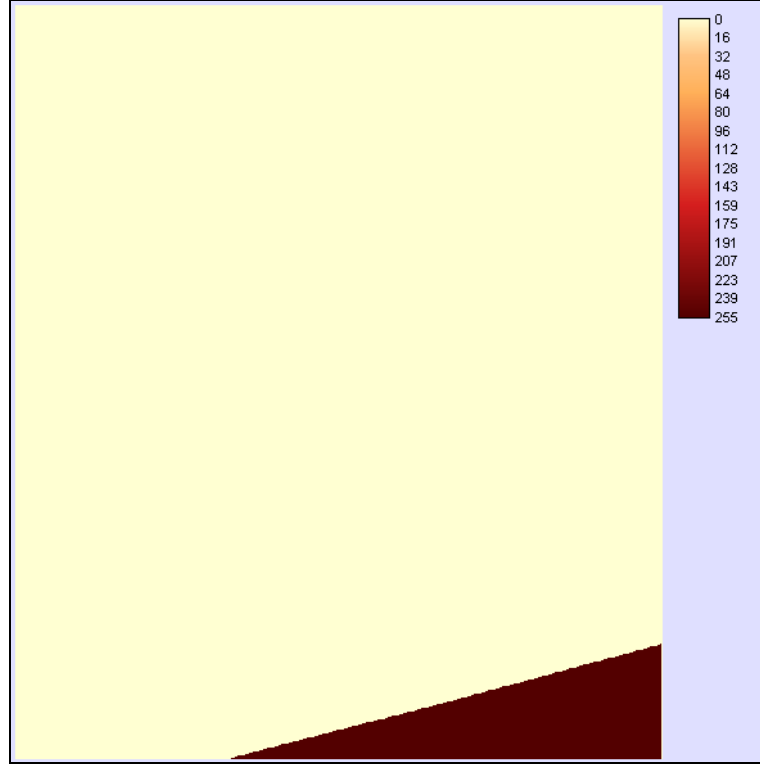
- 0^0 - 180^0 arasında maliyet doğrusal olarak azalmaktadır (FUZZY-Lineer azalan fonksiyon),
- 180^0 - 360^0 arasında maliyet doğrusal olarak artmaktadır (FUZZY-Lineer artan fonksiyon).



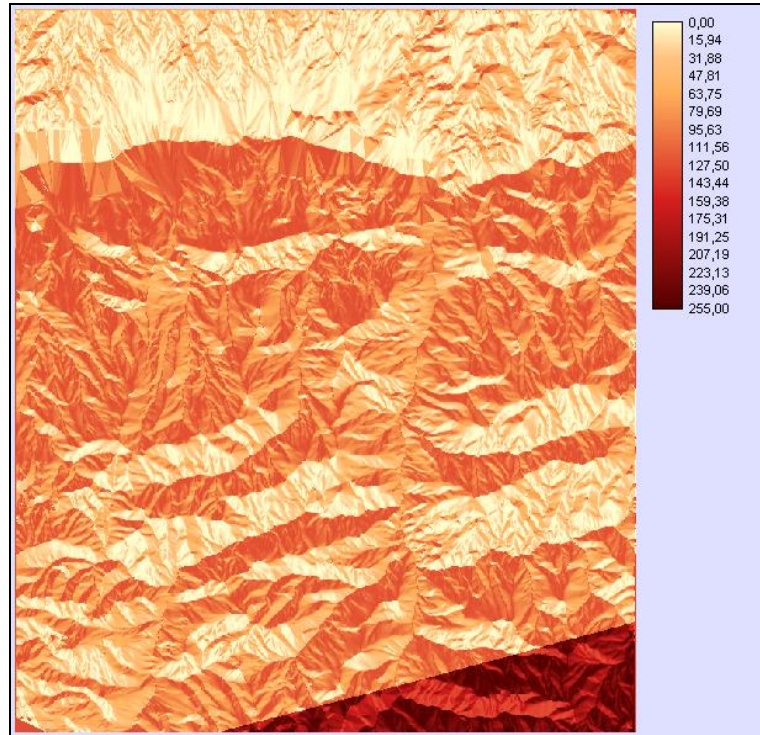
Şekil 38. Bakı haritası

İklim: Çalışma alanında iklim olarak 2 sınıf mevcuttur: Bunlardan, daha ılıman olan “Karadeniz Ardı İklimi”ne 0 değeri, daha sert olan “İç/Doğu Anadolu İklimi”ne ise 255 değeri atanmıştır (Şekil 39.).

Oluşturulan iklim ve bakı haritalarının ortalaması alınarak (OVERLAY-Add, SCALAR-Divide by 2) “bakı ve iklim koşulları” kriter haritası elde edilmiştir (Şekil 40.).



Şekil 39. İklim haritası



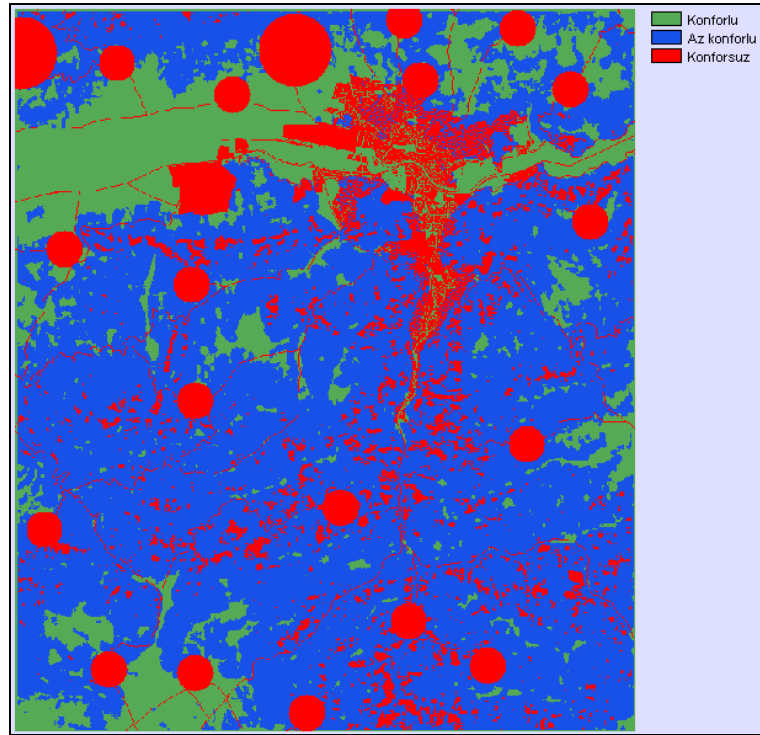
Şekil 40. Bakı ve iklim koşulları kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.8. Konfor Kriteri (2A)

Arazi dalgallılığının artmasının konfor üzerinde olumsuz etkisi olacağı düşünülmektedir. Dalgalı arazide yatay ve düşey kurp fazla olacaktır ki bu da konforu olumsuz etkileyecektir. Dolayısıyla, 3 sınıflı dalgallılık haritasında düz alanlara 0, dalgalı alanlara 150, dağlık alanlara 255 değeri atanarak (Edit/ASSIGN) bir harita oluşturulmuştur.

Arazi kullanımının da konforu etkileyeceği düşünülmektedir. Yerleşim yerlerinde trafik ışıkları, yaya geçitleri vs. nedeniyle dur-kalk çok olmaktadır, bu da konforu azaltmaktadır. Ayrıca, mevcut yollarla kesişim de kavşak yani dur-kalk demektir ve konforu bozmaktadır. Dolayısıyla; arazi kullanım haritasında, konut, sanayi, ticaret, rekreasyon alanlarına, belde ve köylere, özel tesis (dini, askeri, resmi, sağlık, eğitim, turizm) alanlarına, anayollar ve arayollar sınıflarına 255 değeri, diğer yerlere 0 değeri atanmış (Edit/ASSIGN) ve böylece ikinci bir harita oluşturulmuştur.

En sonda, oluşan 2 harita birleştirilerek (OVERLAY-Max ile) kriter haritası elde edilmiştir (Şekil 41.).



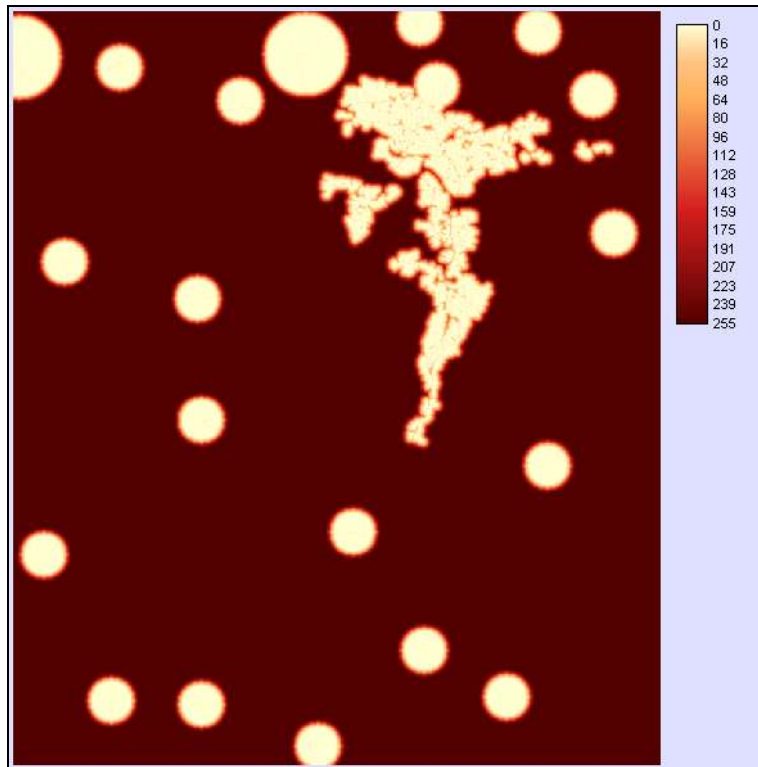
Şekil 41. Konfor kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.9. Ulaşılabilirlik Kriteri (2A)

Yapılacak olan yol ne kadar fazla yerleşime/nüfusa hizmet ederse, ulaşılabilirlik açısından o kadar avantajlı hale gelir. Dolayısıyla yerleşimlere yakın geçiş tercih edilmelidir. Bu bağlamda, ulaşılabilirlik kriterinin temsili için, arazi kullanım haritasında yerleşimlere (yerleşimlerden kasıt: konut alanları, beldeler ve köylerdir) yakınlık haritası oluşturulmuş ve yakın yerlere düşük maliyet, uzak yerlere yüksek maliyet atanmıştır (DISTANCE, FUZZY-Lineer artan fonksiyon):

- Yerleşimlerin kendisinin maliyeti = 0,
- Yerleşimlerin 250 m uzağına kadar maliyet doğrusal olarak artmaktadır (250 m’de maliyet 255’e ulaşmaktadır).

Kriter haritası Şekil 42.’de verilmiştir.



Şekil 42. Ulaşılabilirlik kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.10. Trafik Güvenliği Kriteri (2A)

Trafik güvenliği konusu çok yönlü bir konudur ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır/yapılmaktadır. Kaza tahmin modelleri de çalışmalar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Böyle tahmin modellerinden birisinin bu modelle birleştirilmesi mümkündür ve faydalı olacaktır. Ancak bu konu zor ve zaman alıcı bir konudur, hatta belki de ayrı bir tez konusudur. Dolayısıyla bu çalışmada daha basit bir yaklaşımla trafik kazası riskinin yüksek olduğu yerler tahmin edilmeye çalışılmış ve güzergâh alternatiflerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, trafik güvenliği kriterinin temsil edilmesinde kullanılan varsayımlar ve kurallar şöyledir:

- Kavşakların (mevcut yollarla kesişim bölgeleri) trafik güvenliği açısından daha riskli olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, mevcut yollar haritası, yollara 255 puan diğer yerlere 0 puan verilerek standardize edilmiştir (Edit/ASSIGN).
- Yerleşim yerlerinden geçişlerin daha riskli olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, yerleşimler 255 değerini almış, ayrıca, yerleşimlere uzaklık haritası da 500 m’de sıfıra ulaşacak şekilde (DISTANCE, FUZZY-sigmoidal azalan fonksiyon) standardize edilmiştir.
- En son olarak, yukarıda oluşturulan 2 harita birleştirilerek (OVERLAY–Max) trafik güvenliği kriteri haritası oluşturulmuştur (Şekil 43).

2.3.4.1.11. Diğer Modlarla Uyum Kriteri (2A)

Güzergâh planlanırken, karayolu–demiryolu–denizyolu-havayolu modları bir bütün halinde değerlendirilmeli ve bunların birbiriyle olan ilişkilerini kolaylaştıran güzergâhlar tercih edilmelidir. Bu çalışma alanında demiryolu, denizyolu ve havaalanı bulunmamaktadır. Ancak çalışma alanında 1 adet karayolu terminali bulunmaktadır. Terminal alanının gelişme sahasını kapatmamak adına terminale çok yakın yerlerin maliyeti yüksek, terminale bağlantının kolay olması adına orta mesafelerin maliyetinin düşük, terminale uzak alanların maliyetininse yüksek tutulduğu bir standardizasyon kullanılması uygun bulunmuştur. Bu bağlamda uygulanan kurallar aşağıdaki gibidir (DISTANCE, FUZZY). Oluşan harita Şekil 44.’de görülmektedir.

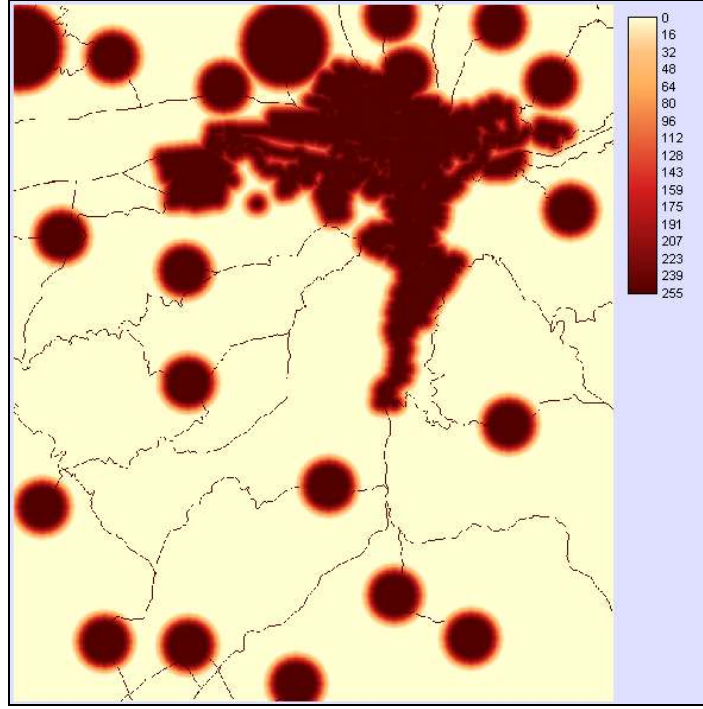
Terminalin etrafındaki;

- ilk 50 m.'nin maliyeti yüksek (255),
- 50 m'den 150 m'ye kadar sigmoid azalan ve 150 m'den 250 m'ye sabit kalan (0),
- 250 m'den itibaren sigmoid artmaya başlayan ve
- 350 m' de maksimum (255) olan bir standardizasyon kullanılmıştır.

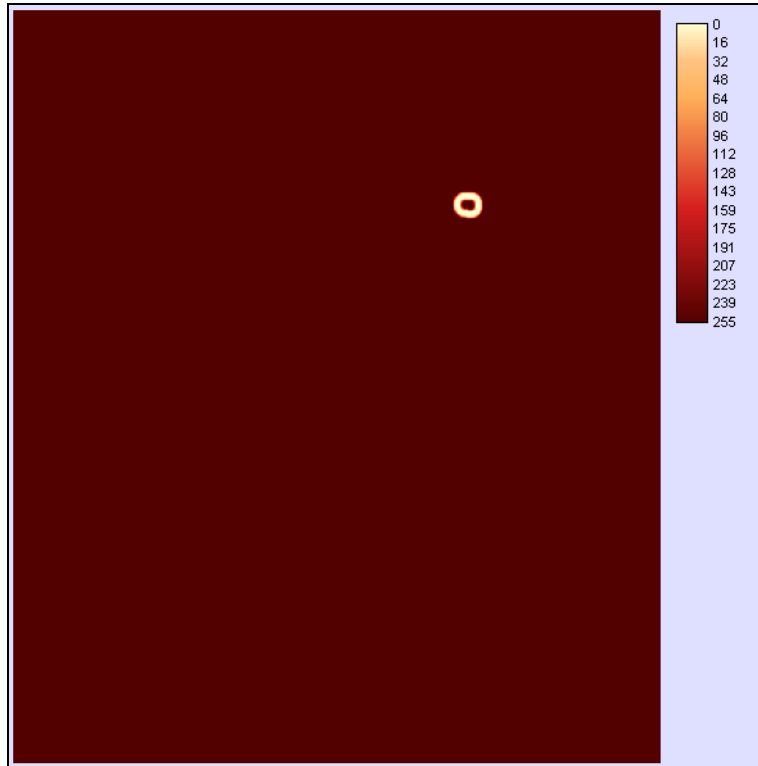
2.3.4.1.12. Yaya Hareketleri Kriteri (2A)

Genel trafik güvenliğinden ayrı olarak, yayaların hareket özgürlüğünün azalması (trafik ışıkları, alt-üst geçitler, vs.) konusuna yönelik bir kriter olarak ele alınmıştır. Şehirlerden geçişte yayalar için sorunlar/zorluklar doğabileceği düşünülmüş, bu sebeple yaya yoğun yerlere ve yakınlarına yüksek maliyet, diğer yerlere düşük maliyet atanarak kriter haritası oluşturulmuştur (Şekil 45.):

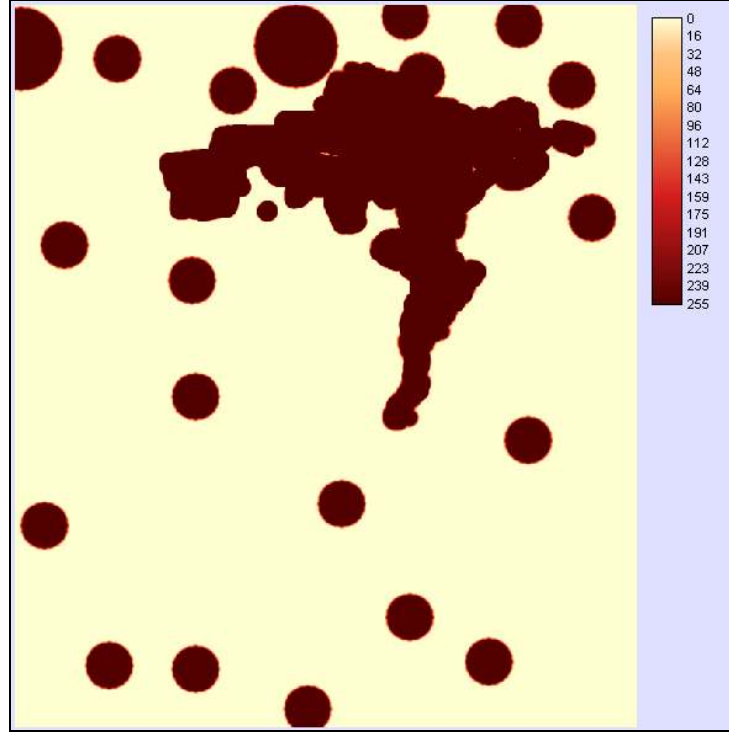
- Konut alanlarının kendisi ve 200 m yakınına kadar olan yerlere maksimum maliyet olan 255, 200 m'den 300 m'ye kadar sigmoidal azalan maliyet, 300 m'den sonra 0 maliyet atanmıştır (DISTANCE, FUZZY).
- Ticaret alanlarının kendisi ve 300 m yakınına kadar olan yerlere maksimum maliyet olan 255, 300 m'den 400 m'ye kadar sigmoidal azalan maliyet, 400 m'den sonra 0 maliyet atanmıştır (DISTANCE, FUZZY).
- Parkların (parklar, sosyal alanlar, oyun alanları, spor alanları, pazar alanları) kendisi ve 250 m yakınına kadar olan yerlere maksimum maliyet olan 255, 250 m'den 300 m'ye kadar sigmoidal azalan maliyet, 300 m'den sonra 0 maliyet atanmıştır (DISTANCE, FUZZY).
- Özel tesislerin kendisi ve 250 m yakınına kadar olan yerlere maksimum maliyet olan 255, 250 m'den 300 m'ye kadar sigmoidal azalan maliyet, 300 m'den sonra 0 maliyet atanmıştır (DISTANCE, FUZZY).
- Beldeler ve köylerin kendisi ve 100 m yakınına kadar olan yerlere maksimum maliyet olan 255, 100 m'den 200 m'ye kadar sigmoidal azalan maliyet, 200 m'den sonra 0 maliyet atanmıştır (DISTANCE, FUZZY).



Şekil 43. Trafik güvenliği kriteri haritası (2A)



Şekil 44. Diğer modlarla uyum kriteri haritası (2A)



Şekil 45. Yaya hareketleri kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.13. Erozyon Kriteri (2A)

Toprak erozyonu kriteri için ayrı bir erozyon tahmin modeli kullanılması daha doğru olan yaklaşımdır; ancak bu aşamada elde böyle bir model bulunmamaktadır. Bu nedenle, erozyon konusunda literatürdeki çalışmalardan hareketle basit bir yaklaşımda bulunulmuştur. Bu yaklaşımda eğim haritası, yağış haritası ve orman haritası kullanılmıştır. Yapılan işlemler şöyledir:

- Eğim haritası Tablo 17.'de görüldüğü gibi 4 sınıflı olarak sınıflandırılmıştır (RECLASS). Sınıf sınırları kişisel bilgilere göre belirlenmiş olup, daha gelişmiş modellerde farklı sınıf sayıları ve değerleri kullanılabilir.

Tablo 17. Eğim için sınıflı standardizasyon değerleri (erozyon bağlamında)

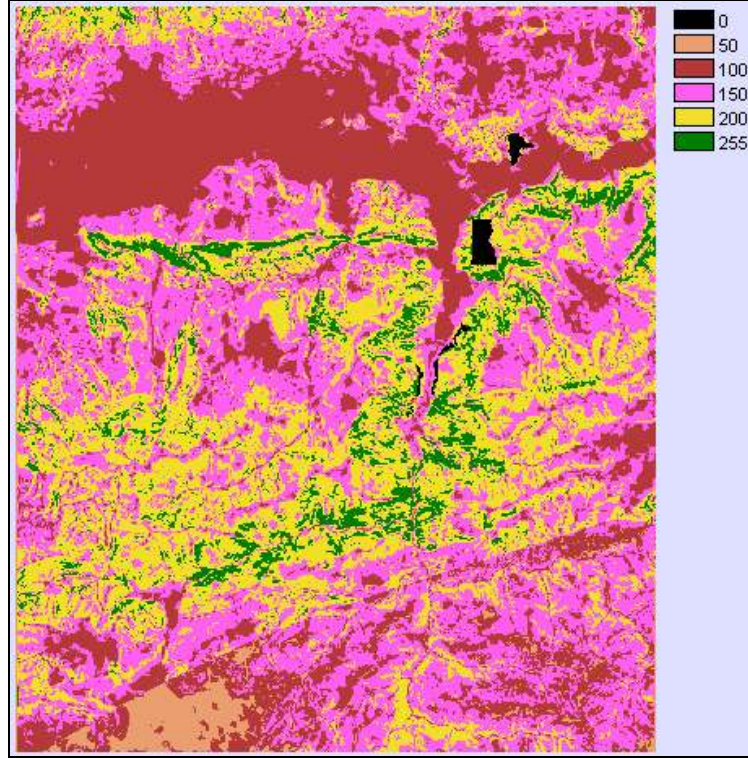
Sınıf numarası	Eğim aralığı (%)
1	0-10
2	10-25
3	25-50
4	50-5000

- Yağış haritası, “1-çok yağışlı” ve “2-az yağışlı” olmak üzere iki sınıftan oluşmaktadır.
- Eğim ve yağış haritaları, heyelan haritasının oluşturulması sırasında anlatılana benzer şekilde CROSSTAB modülü ile birleştirilmiş ve oluşan haritaya Tablo 18.’deki standardizasyon değerleri atanmıştır (Edit/ASSIGN). Bu tabloda, örneğin 4 numaralı sınıf, eğim haritasında 4 numaralı sınıfa giren (yüksek eğimli), yağış haritasında ise 1 numaralı sınıfa giren (çok yağışlı) yerleri göstermektedir ki bu gibi yerlerde erozyon riskinin fazla olacağından standardizasyon değeri olarak 255 atanmıştır.

Tablo 18. “Eğim (CROSSTAB) Yağış” haritası için standardizasyon değerleri (erozyon bağlamında)

Sınıf numarası	CROSSTAB sınıfı	Standardizasyon değeri
1	1-1	100
2	2-1	150
3	3-1	200
4	4-1	255
5	1-2	50
6	2-2	100
7	3-2	150
8	4-2	200

- Orman haritası, CROSSTAB sonucunda elde edilen ve standardize edilen haritayı maskelemek amacıyla kullanılmıştır. Orman alanlarına 0 değeri, diğer yerlere 1 değeri verilerek standardize edilen orman haritası (Edit/ASSIGN), bahsedilen haritayla çarpılmıştır (OVERLAY-Multiply). Elde edilen kriter haritası aşağıdaki Şekil 46.’ta görülmektedir.



Şekil 46. Erozyon kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.14. Hava Kirliliği Kriteri (2A)

Karayolları, hava kirliliğine yol açan kaynakların en önemlilerinden birisidir. Bu nedenle, karayolu güzergâhları belirlenirken bu kriter göz önünde tutulmalıdır.

Karayolu kaynaklı hava kirliliği konusunu ele alan ve kirlilik miktarını tahmin etmeye çalışan pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır ve halen de yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucu ortaya konmuş modellerin güzergah belirleme esnasında kullanılması daha doğru olan yoldur. Ancak bu çalışmada karayolundan kaynaklanan hava kirliliği kriteri, daha basit bir yaklaşımla, hava kirliliğinden etkilenecek alanın özelliğiyle dikkate alınmaya çalışılmıştır. Yani; karayolu güzergahının, hava kirliliğine duyarlılığı fazla olan arazi kullanım sınıflarından uzak geçirilmesine çalışılmıştır.

Etkilenecek alanı değerlendirebilmek için, arazi kullanım haritasındaki sınıfların bazıları için uzaklık haritaları oluşturulmuş (DISTANCE); yakın yerlere yüksek, uzak yerlere düşük maliyet atanacak şekilde standardizasyonlar yapılmış (FUZZY-Sigmoidal azalan fonksiyon); bütün sınıflara ait standardize edilmiş haritalar birleştirilmiştir

(OVERLAY-Max). Arazi kullanım sınıflarına uzaklık haritalarının standardizasyonunda, her sınıf için farklı sınır değerleri kullanılmıştır (Tablo 19.).

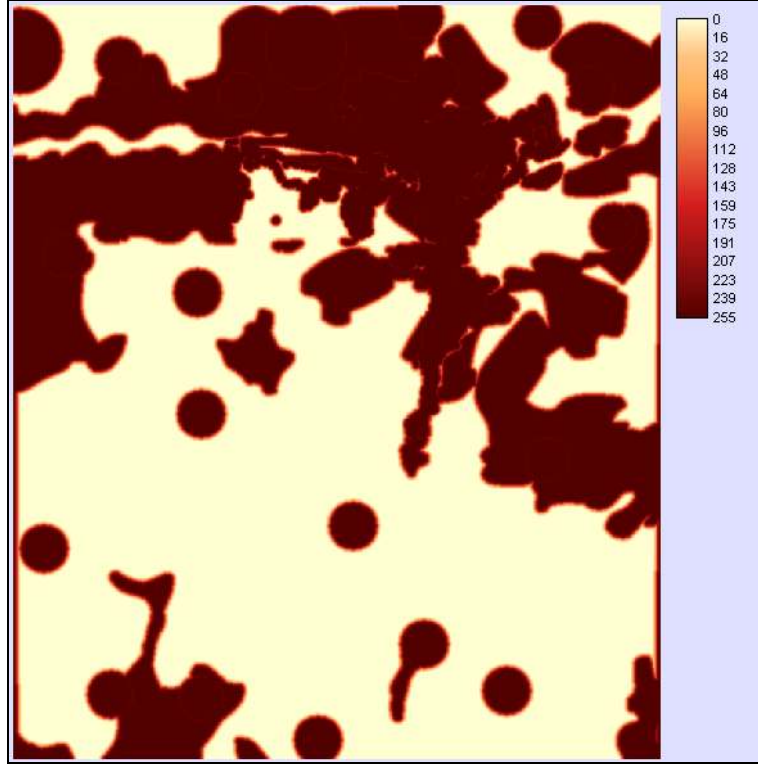
Tablo 19. Arazi kullanım sınıflarına uzaklık haritalarının standardizasyon değerleri (hava kirliliği bağlamında)

Arazi kullanım sınıfı	a , b ve c	d
Konut alanları	50	250
Ticaret alanları	0	200
Tarım alanları	0	200
Park	50	250
Beldeler ve köyler	50	250
Özel tesisler	100	250

Bu tabloya göre; örneğin konut alanlarına uzaklık haritasının standardizasyonunda kullanılan yaklaşım şu şekilde ifade edilebilir:

- Konut alanlarının maliyeti maksimum (255),
- Konut alanlarından 50 m mesafeye kadar olan yerlerin maliyeti maksimum (255),
- 50 m'den 250 m'ye kadar maliyet, sigmoid fonksiyonla azalmakta (250 m'de maliyet minimum, yani 0),
- 250 m'den uzak yerlerde maliyet minimum (0).

Tablodaki diğer satırlar da benzer şekilde anlaşılabilir. Ortaya çıkan kriter haritası Şekil 47.'de görülmektedir.



Şekil 47. Hava kirliliği kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.15. Gürültü Kriteri (2A)

Karayollarının olumsuz çevresel etkilerinden birisi de gürültüdür. Bu açıdan, karayolu güzergâhları belirlenirken bu kriter göz önünde tutulmalıdır.

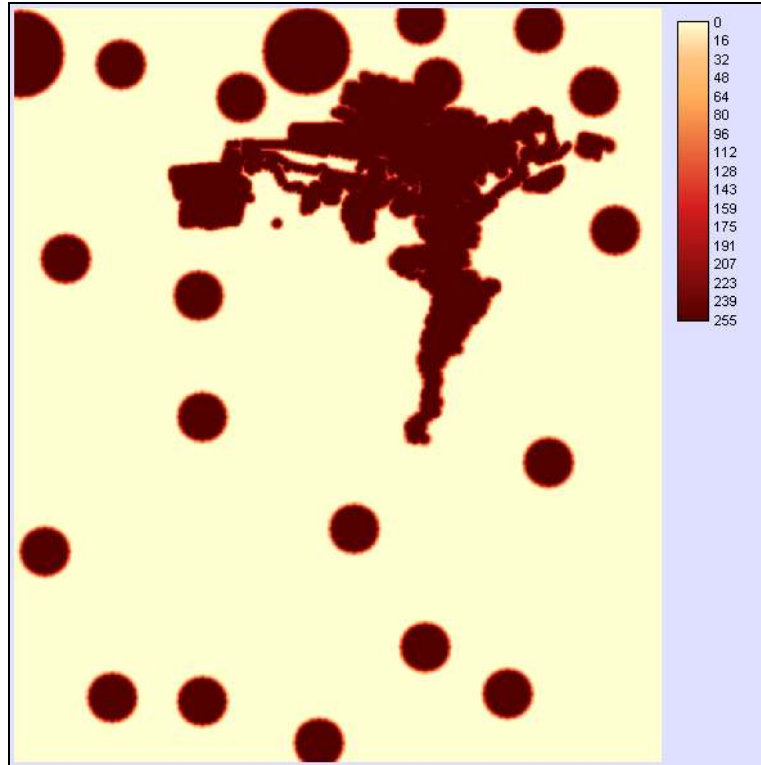
Hava kirliliği kriterinde olduğu gibi bu konuda da pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır. İleride bu çalışmalar sonucu ortaya konmuş modellerden çıkan sonuçlar burada oluşturulan güzergâh belirleme modeline monte edilebilir. Ancak hava kirliliği kriterinde olduğu gibi bu çalışmada da, kriterin temsilinde etkilenecek alanın özelliği dikkate alınmaya çalışılmıştır. Yani; karayolu güzergahının, gürültüye duyarlılığı fazla olan arazi kullanım sınıflarından uzak geçirilmesine çalışılmıştır. Kullanılan model, hava kirliliği kriterinde kullanılan modele çok benzemektedir: sadece, burada tarım alanları yerine sit alanları sınıfı kullanılmıştır.

Etkilenecek alanı değerlendirebilmek için, arazi kullanım haritasındaki sınıfların bazıları için uzaklık haritaları oluşturulmuş, yakın yerlere yüksek-uzak yerlere düşük maliyet olacak şekilde standardizasyonlar yapılmış, bütün sınıflara ait standardize edilmiş haritalar OVERLAY-Max ile birleştirilmiştir. Arazi kullanım sınıflarına uzaklık

haritalarının standardizasyonunda FUZZY – sigmoidal – azalan fonksiyon, Tablo 20.'de verilen sınır değerlerle kullanılmıştır. Ortaya çıkan kriter haritası Şekil 48.'de görülmektedir.

Tablo 20. Arazi kullanım sınıflarına uzaklık haritalarının standardizasyon değerleri (gürültü bağlamında)

Arazi kullanım sınıfı	a , b ve c	d
Konut alanları	50	250
Ticaret alanları	0	200
Sit alanları	0	200
Park	50	250
Beldeler ve köyler	50	250
Özel tesisler	100	250



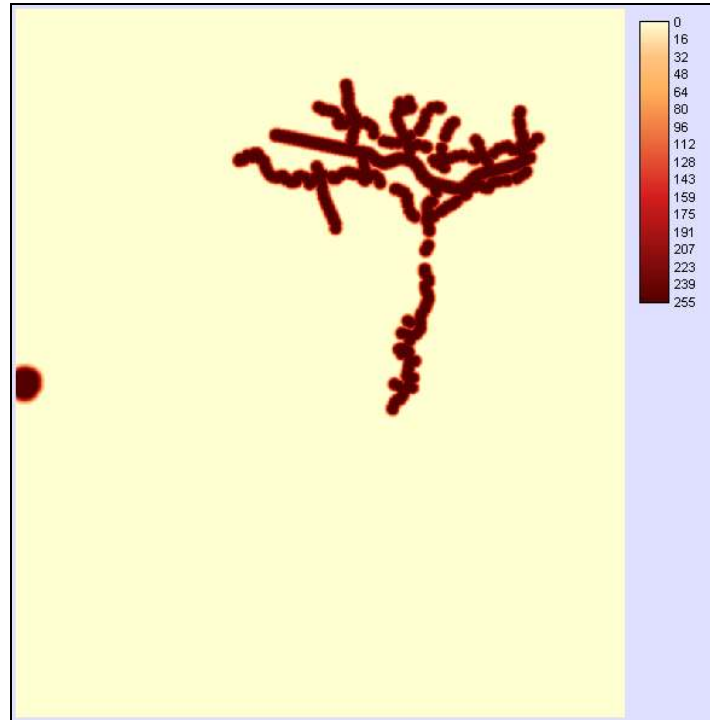
Şekil 48. Gürültü kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.16. Su Kirliliği Kriteri (2A)

Denizler, göller, su kaynakları, akarsu ve kanalların karayolu kaynaklı emisyonlarla kirlenmesini önlemek için, karayollarının bu gibi yerlerin uzağından geçmesi istenmektedir. Bu sebeple standardizasyonda şu kurallar uygulanmıştır.

- Çalışma alanında deniz ve göl bulunmamaktadır. İçme suyu kaynaklarına uzaklığı gösteren haritada; ilk 250 m’de maliyet en yüksek (255), daha sonra maliyet 250 m’den 500 m’ye kadar sigmoidal olarak azalmakta ve 500 m’den uzak alanlar 0 maliyet almaktadır (DISTANCE, FUZZY).
- Irmaklar ve kanallara uzaklığı gösteren haritada; ilk 100 m’de maliyet en yüksek (255), daha sonra maliyet 100 m’den 250 m’ye kadar sigmoidal olarak azalmakta ve 250 m’den uzak alanlar 0 maliyet almaktadır (DISTANCE, FUZZY).
- Bu iki harita birleştirilmektedir (OVERLAY-Max).

Elde edilen kriter haritası Şekil 49.’da görülmektedir. Esasında içme suyu kaynaklarının yakınındaki 250 m’lik alan birinci aşamada elenmiştir ve güzergâh alternatiflerinin belirlenmesi aşamasında kullanılmayacaktır; ancak bu kriterde de ilk 250 m’lik alan en yüksek maliyetle standardize edilmiştir.

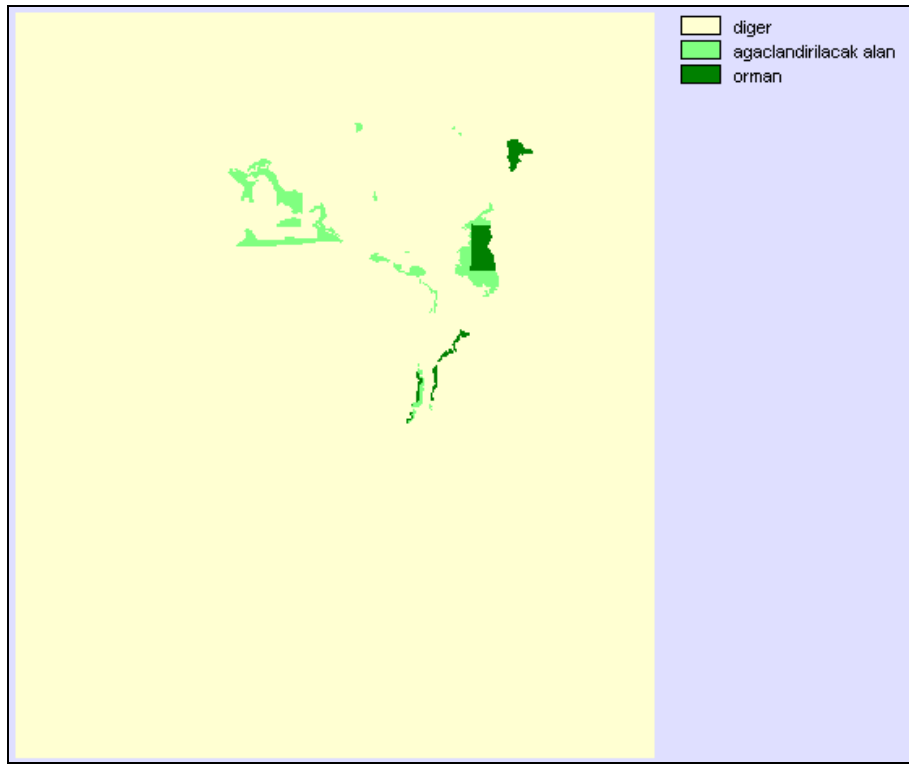


Şekil 49. Su kirliliği kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.17. Ormanlar Kriteri (2A)

Karayolunun orman alanlarına ve ağaçlandırılacak alanlara zarar vermesini önlemek için, arazi kullanım haritasındaki bu alanlara maliyet değerleri atanarak standardizasyon yapılmıştır (Edit/ASSIGN). Şekil 50.'deki sınıflı haritayı ortaya çıkaran kurallar şöyledir:

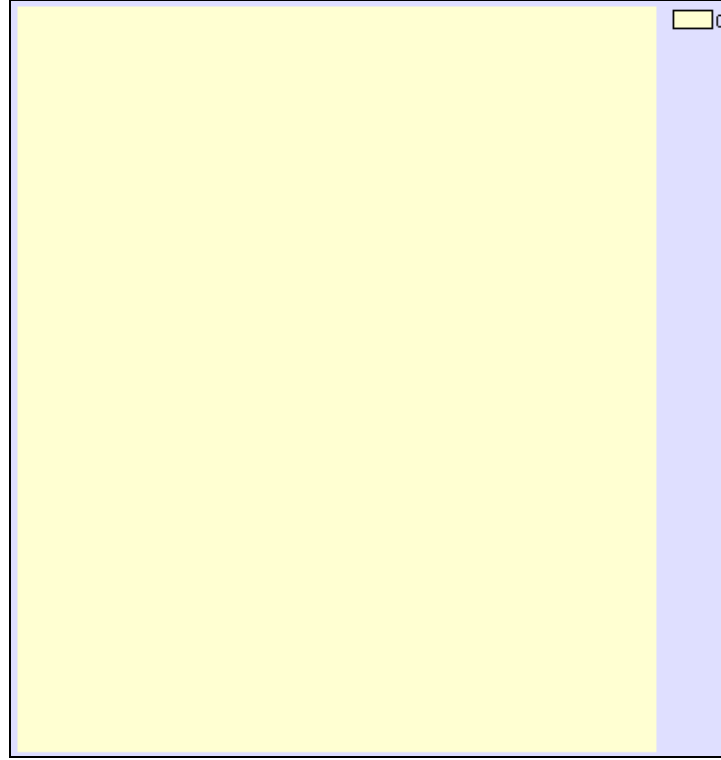
- Orman alanları=255,
- Ağaçlandırılacak alanlar =150 ,
- Diğer alanlar = 0.



Şekil 50. Ormanlar kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.18. Yaban Hayatı Kriteri (2A)

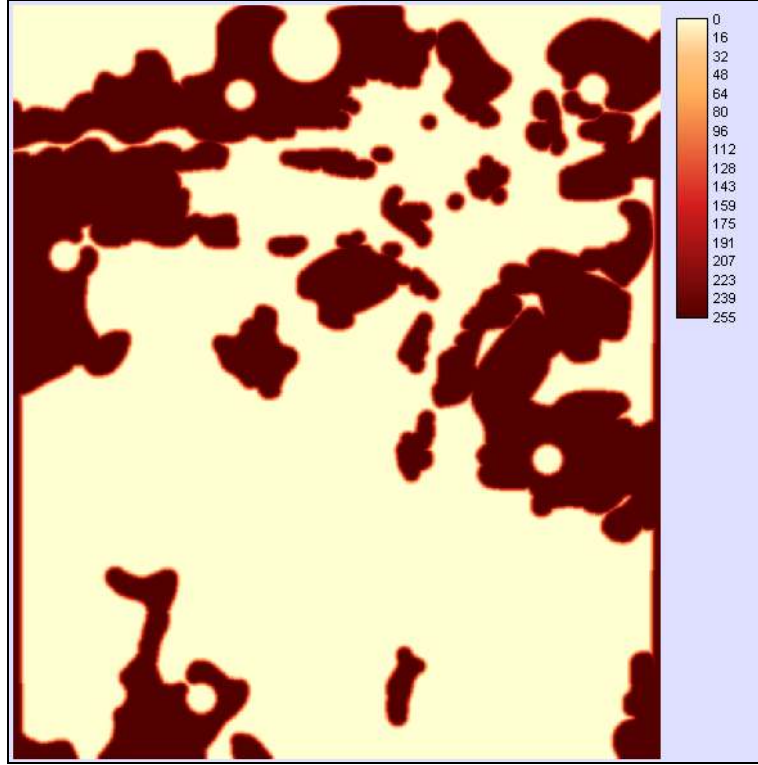
Karayolunun geçeceği alanda tespit edilmiş yaban hayatı koruma sahası varsa, yolun buralardan geçmemesi gereklidir. Bu kriterin temsilinde; bu alanlara 255, diğer yerlere 0 değerinin atandığı bir standardizasyon kullanılabilir. Çalışma sahasında yaban hayatı koruma sahası bulunmadığından, her yerine 0 değeri atanmış bir harita kullanılmıştır (Şekil 51.).



Şekil 51. Yaban hayatı kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.19. Toprak Kirliliği Kriteri (2A)

Karayolları, yaydığı emisyonlar yüzünden toprak kirliliğine de sebep olmaktadır. Kirlilikten etkilenecek verimli toprakları azaltmak için, yolun mümkün olduğu kadar tarımsal toprakların uzağından geçirilmesi istenir. Bunu sağlamak için, tarım alanlarına uzaklık haritası oluşturulmuş (DISTANCE) ve bu harita; 100 m'ye kadar olan yerlerin maliyeti 255, 100 m'den 300 m'ye kadar maliyet sigmoidal olarak azalmakta ve 300 m'den uzak yerlerin maliyeti 0 olacak şekilde standardize edilmiştir (FUZZY). Elde edilen kriter haritası Şekil 52.'de görülmektedir.



Şekil 52. Toprak kirliliği kriteri haritası (2A)

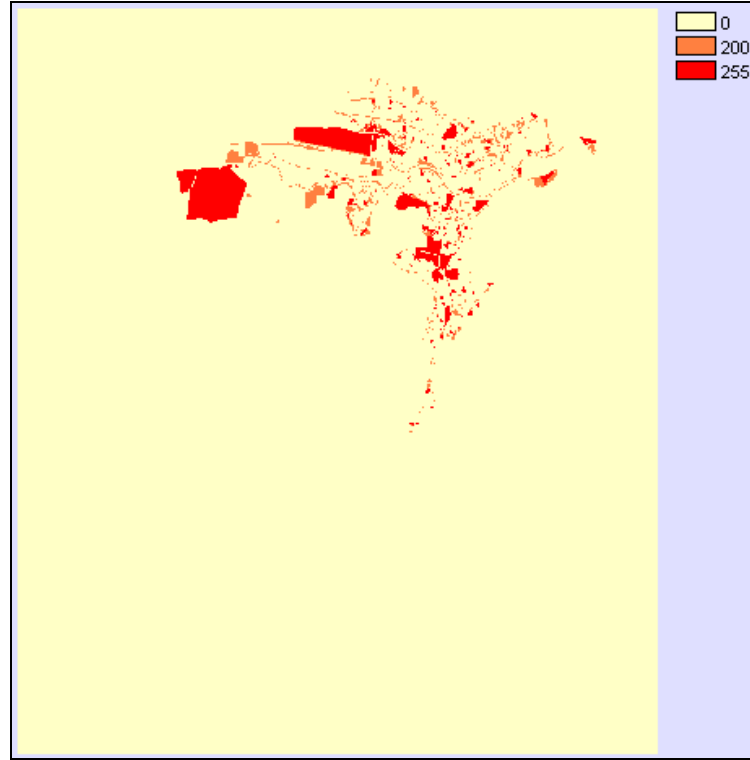
2.3.4.1.20. Yeniden Yerleşim Kriteri (2A)

Karayolu yapımı sırasında kamulaştırmalar yapılması kaçınılmazdır. İstimlak edilen yerlerin sahiplerinin alıştıkları yerlerinden ve yaşamlarından ayrılmaları zordur ve buna bir direnç olur. Özellikle konut alanlarında, sanayi ve ticaret alanlarında yapılan kamulaştırmaların mümkün oldukça aza indirilmesine çalışılmalıdır. Bu bağlamda, “yeniden yerleşim” kriterinin standardizasyonunda şu kurallar uygulanmıştır:

Arazi kullanım haritasında;

- Konut alanları = 255,
- Beldeler ve köyler = 255,
- Sanayi alanları = 200,
- Ticaret alanları = 150,
- Diğer alanlar =0.

Ortaya çıkan kriter haritası Şekil 53.’te verilmiştir.



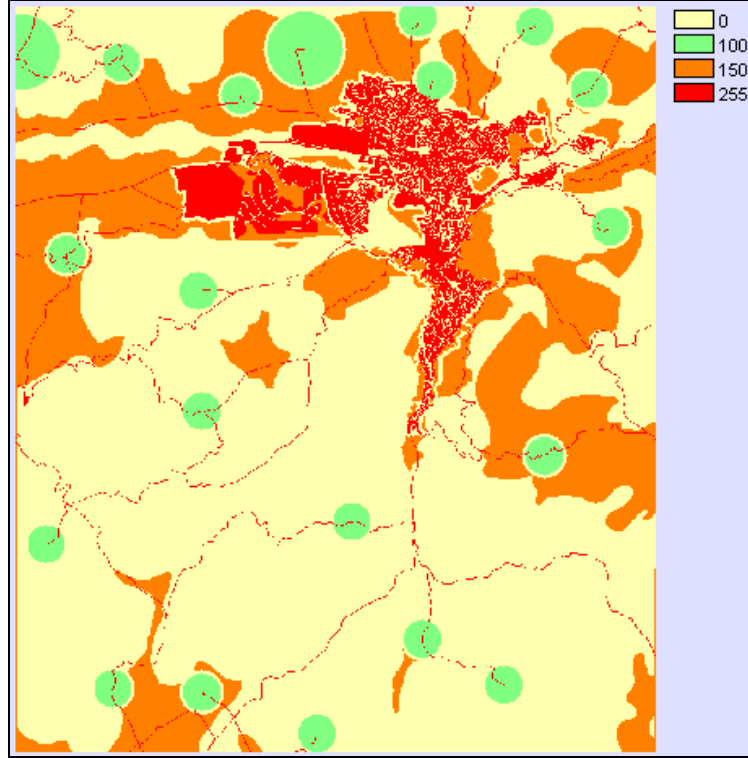
Şekil 54. Toplum etkinlikleri kriteri haritası (2A)

2.3.4.1.23. Arazi Kullanımı Değişimi Kriteri (2A)

Karayolları ile arazi kullanımı arasında çok yakın bir ilişki vardır. Kentleşme ve nüfus artışı yeni yollara olan talebi artırırken, yollar da kentleşmeyi ve gelişmeyi üzerine çeker. Bu sebeple, arazi kullanımını istenilen şekilde yönlendirmek için kullanılacak en önemli araçlardan birisi karayollarıdır. Bu tespitler ışığında bu kriterin standardizasyonunda aşağıdaki kurallar uygulanmış ve Şekil 55.'deki kriter haritası elde edilmiştir:

Arazi kullanım haritasında;

- Halihazırda boş olan yerlerin maliyeti en düşük = 0,
- Tarım-orman alanlarının maliyeti = 150,
- Beldeler ve köyler = 100,
- Geriye kalan yerler (konut, sanayi alanları, ticaret alanları, yollar, ırmaklar ve kanallar, özel tesisler, parklar, sular, sit alanları) = 255 olarak belirlenmiştir.



Şekil 55. Arazi kullanımı değişimi kriteri (2A)

2.3.4.2. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHY'den faydalanılmıştır. Kriter ağırlıklarının AHY ile belirlenmesindeki ilk adım, kriterlerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesidir. Hiyerarşinin en üstünde amaç olarak “optimum güzergâhın belirlenmesi” bulunmaktadır. Bu amacın altında, birbiriyle ilgili kriterlerin bir arada kümelendiği Kriter Grupları (KG) yer almaktadır. Bu çalışmada 6 KG kullanılmıştır:

- 1- EKONOMİK (EKON) KG
- 2- MÜHENDİSLİK (MÜH) KG
- 3- TRAFİK (TRAF) KG
- 4- ÇEVRESEL (ÇEV) KG
- 5- SOSYAL (SOS) KG
- 6- ARAZİ KULLANIMI (ARZKUL) KG

Belirlenen 22 kriter bu KG'lere yerleştirilirken, AHY'deki ikili karşılaştırmaların yapılmasını kolaylaştırmak adına, her bir KG altındaki kriter sayısının 7'yi geçmemesine çalışılmıştır. Oluşturulan hiyerarşi şeması Tablo 21.'de verilmektedir.

Tablo 21. İkinci aşama için oluşturulan hiyerarşi şeması

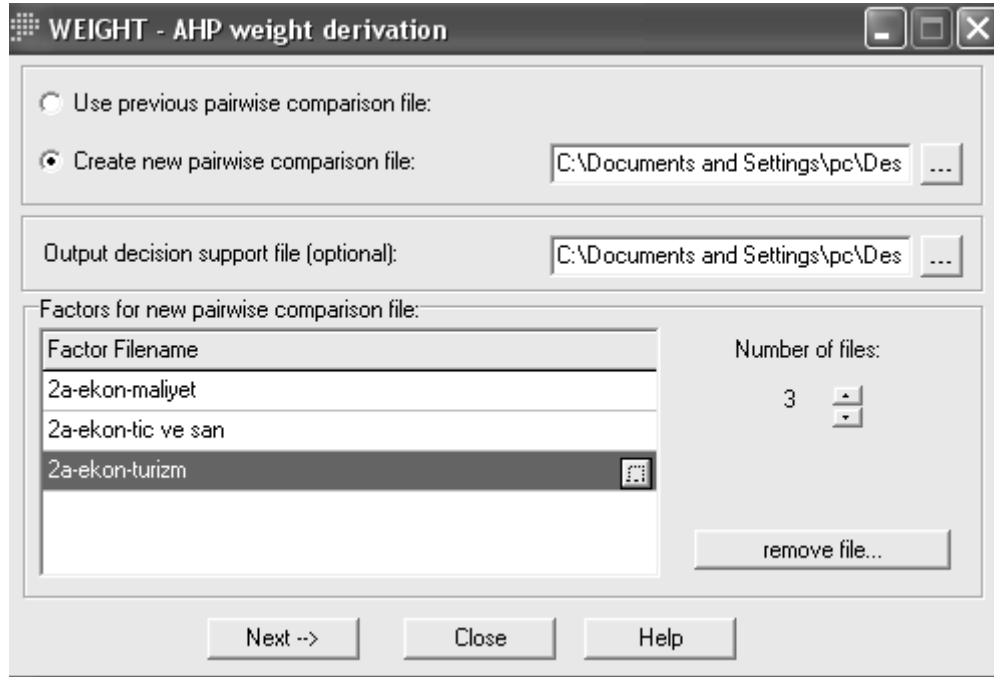
0- OPTİMUM GÜZERGAH					
1- EKONOMİK KG (EKON)	2- MÜHENDİSLİK KG (MÜH)	3- TRAFİK KG (TRAF)	4- ÇEVRESEL KG (ÇEV)	5- SOSYAL KG (SOS)	6- ARAZİ KUL. KG (ARZKUL)
* Maliyet * Turizm Gelişimi * Ticaret ve Sanayi Gelişimi	* Topoğrafya * Jeolojik Yapı * Yapı Güvenliği * Bakı ve İklim Koşulları	* Konfor * Ulaşılabilirlik * Trafik Güvenliği * Diğer Modlarla Uyum * Yaya Hareketleri	* Erozyon * Hava Kirliliği * Gürültü * Su Kirliliği * Ormanlar * Yaban Hayatı * Toprak Kirliliği	* Yeniden Yerleşim * Toplum Etkinlikleri	* Arazi Kullanımı Değişimi

AHY ile ağırlıkların belirlenmesindeki ikinci adım, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma matrislerine matematiksel bazı işlemler uygulanarak ağırlıklar hesaplanacaktır. Hem kriterlerin KG içerisindeki önemlerini hesaplamak için, hem de KG'lerin birbirlerine göre önemlerini belirlemek için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Her bir kriterin güzergâh belirleme sürecindeki ağırlığı, kriterin KG içi ağırlığıyla, kriterin ait olduğu KG'nin ağırlığının çarpılmasıyla bulunabilir.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken, yani kriterlerin ağırlıkları belirlenirken, söz konusu yolun özellikleri ve yapım amacı dikkate alınmış; ele alınan yol bir çevre yolu olduğundan, yolun mümkün oldukça yerleşimlerden uzak geçirilmesine çalışılmış, çevreyle ve kentin sağlıklı bir şekilde gelişmesiyle ilgili unsurlara özel önem verilmiştir.

IDRISI yazılımı içerisinde ikili karşılaştırmalar matrislerinin oluşturulmasını ve bu matrisleri kullanarak ağırlıkları belirlemeyi mümkün kılan modül, WEIGHT modülüdür. WEIGHT modülündeki ilk pencerede; ikili karşılaştırmalar matrisinde değerlendirilecek

olan kriter dosyalarının isimleri, oluşturulacak ikili karşılaştırma dosyasının (.pcf uzantılı) ismi ve (isteğe bağlı olarak) hesaplanacak kriter ağırlıklarının kaydedileceği karar destek dosyasının (.dsf uzantılı) adı girildikten sonra bir sonraki adıma geçmek için “İleri” düğmesine tıklanır (Şekil 56.).



Şekil 56. WEIGHT modülüne ait ilk pencere

Ekrana gelen pencerede; satır ve sütun başlıklarında kriter isimleri bulunan, köşegeni 1’lerden oluşan ve köşegenin üst tarafındaki üçgen bölümü boş olan bir matris bulunmaktadır. Bu matriste kriterler karşılaştırılır ve kriterlerin birbirine göre önemleri 9’lu ölçeğe göre belirlenerek ilgili hücelere girilir (Şekil 57.). Bütün boş hüceler değerlendirildikten sonra “Calculate Weights” düğmesine tıklanır ve kriterlerin hesaplanan ağırlıklarıyla beraber, yapılan değerlendirmeler için “Tutarlılık Oranı”nı (TO) gösteren bir pencere açılır. TO değeri 0,1’den küçükse, yapılan değerlendirmeler arasında tutarlılık bulunduğu anlaşılır ve hesaplanan ağırlıklar saklanabilir. Aksi takdirde değerlendirmelerde tutarsızlık olduğu anlaşılır ve ikili karşılaştırma matrisi gözden geçirilir. 6 KG için anlatılan şekilde oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri aşağıdaki tablolarda verilmektedir (Tablo 22., Tablo 23., Tablo 24., Tablo 25., Tablo 26., Tablo 27.). Oluşturulan matrislere göre hesaplanan ağırlıklar ve TO’lar da tablolarda yer almaktadır.

WEIGHT - AHP weight derivation

Pairwise Comparison 9 Point Continuous Rating Scale

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremely	very strongly	strongly	moderately	equally	moderately	strongly	very strongly	extremely
Less Important					More Important			

Pairwise comparison file to be saved : ...

	2a-ekon-maliyet	2a-ekon-tic ve	2a-ekon-turizm
2a-ekon-maliyet	1		
2a-ekon-tic ve	0.5	1	
2a-ekon-turizm	0.33	0.5	1

OK Close Help

Şekil 57. WEIGHT modülüne ait ikinci pencere

Tablo 22. EKON KG için ikili karşılaştırma matrisi (2A)

EKON KG	Maliyet	Tic. ve san. gel.	Turizm gelişimi	Ağırlıklar
Maliyet	1			0,54
Tic. ve san. gel.	1/2	1		0,30
Turizm gelişimi	1/3	1/2	1	0,16
TO = 0,01- Tutarlı				

Tablo 23. MÜH KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)

MÜH KG	Bakı ve iklim	Jeoloji	Topografya	Yapı güvenliği	Ağırlıklar
Bakı ve iklim	1				0,09
Jeoloji	3	1			0,21
Topografya	3	2	1		0,35
Yapı güvenliği	3	2	1	1	0,35
TO = 0,02- Tutarlı					

Tablo 24. TRAF KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)

TRAF KG	Konfor	Ulaşılabilirlik	Güvenlik	Diğer mod.uyum	Yayalar	Ağırlıklar
Konfor	1					0,05
Ulaşılabilirlik	4	1				0,22
Güvenlik	8	4	1			0,50
Diğ. mod. uyum	2	1/2	1/4	1		0,11
Yayalar	3	1/3	1/3	1	1	0,12
TO = 0,04- Tutarlı						

Tablo 25. ÇEV KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)

ÇEV KG	Erozyon	Gürültü	Orman.	Su Kir.	Toprak Kir.	Yaban Hayatı	Hava Kir.	Ağırlıklar
Erozyon	1							0,14
Gurultu	1/2	1						0,08
Ormanlar	1	3	1					0,11
Su kirliliği	1	2	2	1				0,19
Toprak kir.	1	3	1	1	1			0,15
Yaban hay.	1/2	1/2	1	1/4	1	1		0,08
Hava kir.	2	2	5	1	2	3	1	0,25
TO = 0,06 - Tutarlı.								

Tablo 26. SOS KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)

SOS KG	Toplum etkinlikleri	Yeniden yerlesim	Ağırlıklar
Toplum etkinlikleri	1		0,25
Yeniden yerlesim	3	1	0,75
TO = 0,00 – Tutarlı			

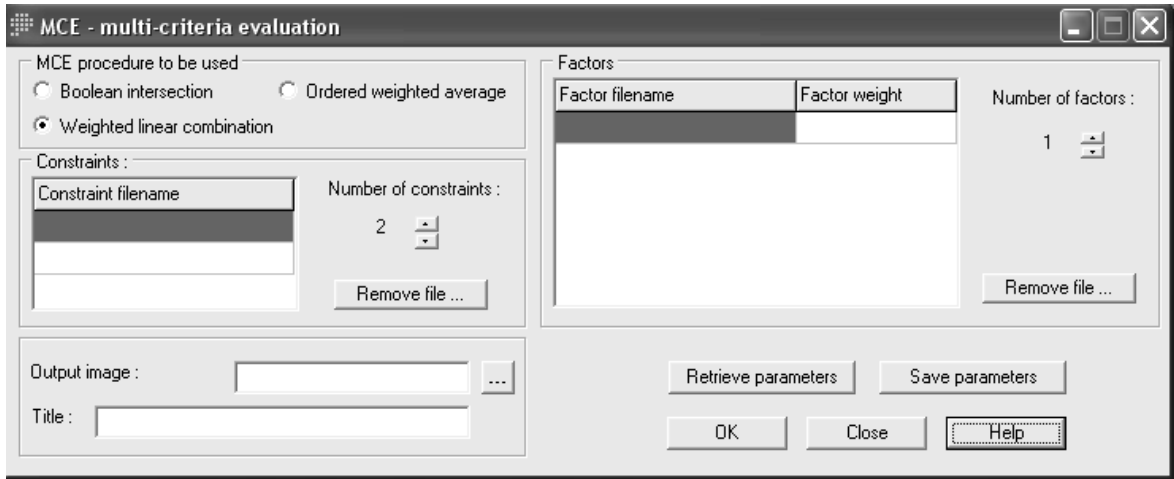
Tablo 27. ARZKUL KG için ikili karşılaştırmalar matrisi (2A)

ARZKUL KG	Arazi kullanım değişimi	Ağırlıklar
Arazi kullanım değişimi	1	1
TO = 0,00 –Tutarlı		

2.3.4.3. Kriter Grubu Haritalarının Oluşturulması

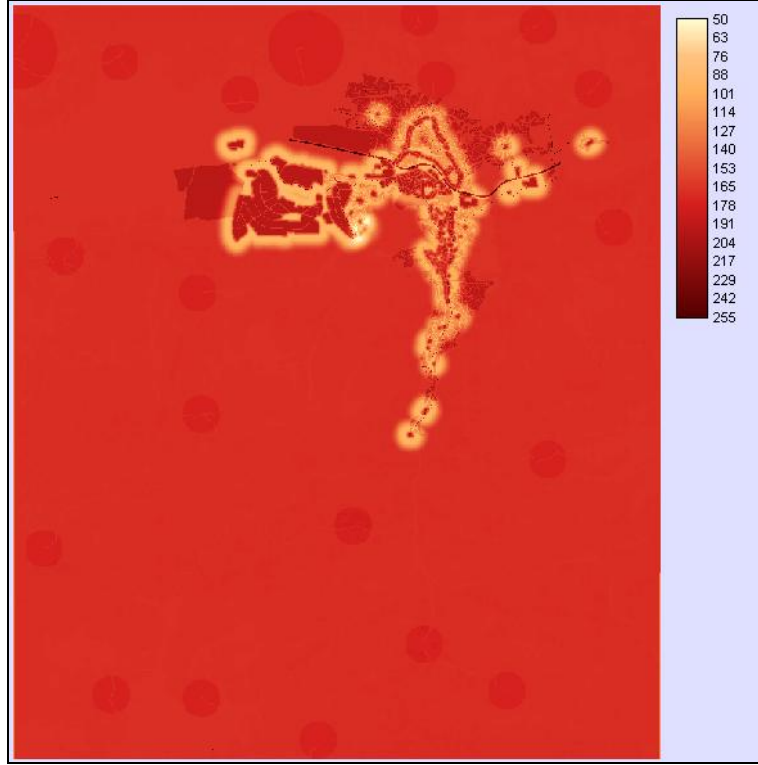
Kriter haritaları oluşturulduktan ve kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra yapılması gereken işlem, kriter haritalarının belirlenen ağırlıklarla birleştirilerek KG haritalarının oluşturulmasıdır. IDRISI içerisinde bu işlem, MCE modülü kullanılarak kolaylıkla yapılabilmektedir.

MCE modülünde 3 farklı ÇKD prosedürü seçeneği bulunmaktadır: Boolean kesişim, ADB ve OWA. Bu çalışmada ADB seçeneği seçilmiştir. Şekil 58.'deki modül görüntüsünden görüleceği gibi, pencerenin sol tarafında kısıt haritalarının isimlerinin girilmesi gereken bölüm, sağ tarafında ise “faktör” isimlerinin ve ağırlıklarının girilmesi gereken bölüm yer almaktadır. Sağ alt tarafta bulunan “retrieve parameters” düğmesine tıklandığında çıkan listeden, ilgili (.dsf uzantılı) dosyanın seçilmesi halinde, WEIGHT modülünde ağırlıkları hesaplanıp kaydedilen kriterler ve ilgili ağırlıkları, “factors” bölümüne otomatik olarak yazılmaktadır. Sol alt tarafta bulunan boşluğa da oluşturulacak raster dosyanın adı yazıldıktan ve “OK” düğmesine tıklandıktan sonra sonuç KG haritası ekrana gelmektedir.

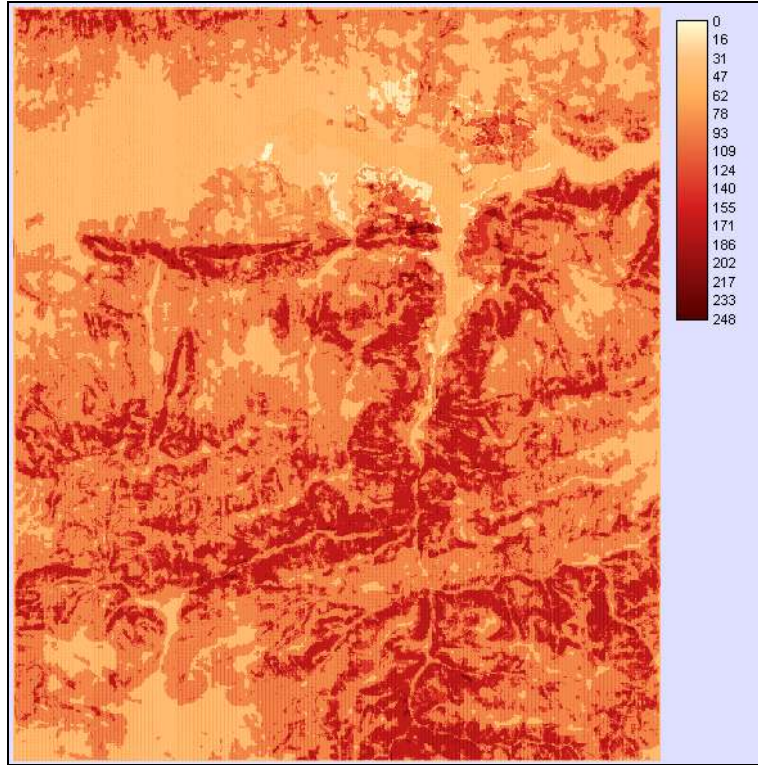


Şekil 58. MCE modülü penceresi

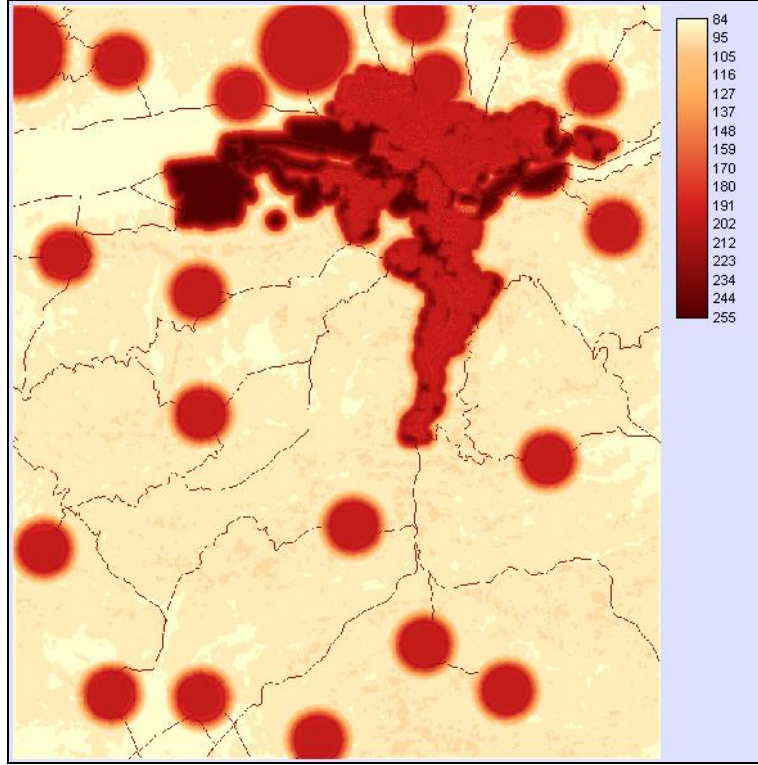
Her bir KG içerisindeki kriterlerin, WEIGHT modülüyle hesaplanan ağırlıkları dikkate alınarak MCE modülüyle birleştirilmesi sonucunda elde edilen KG haritaları aşağıda sunulmuştur (Şekil 59., Şekil 60., Şekil 61., Şekil 62. Şekil 63., Şekil 64.).



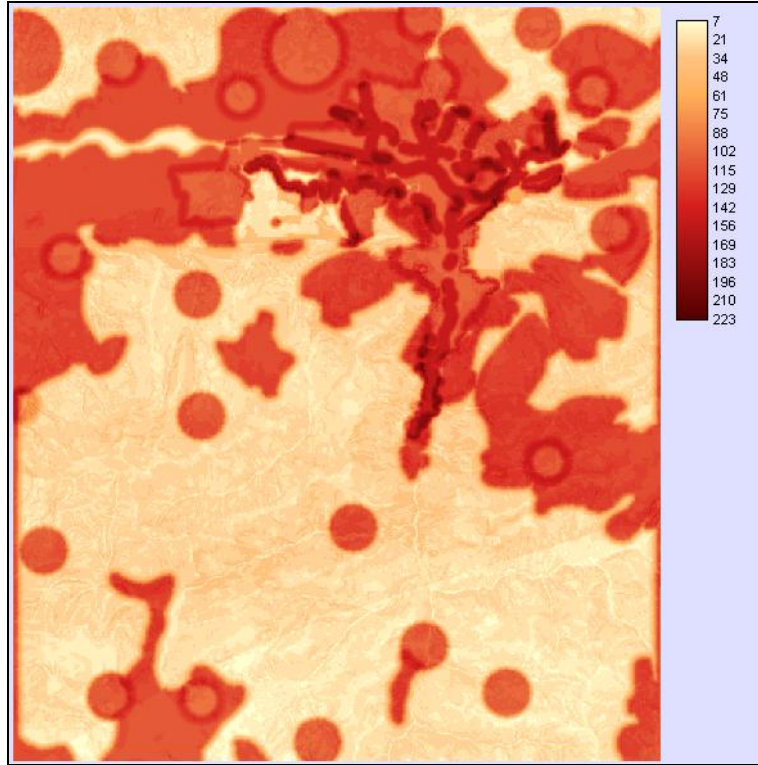
Şekil 59. EKON KG haritası



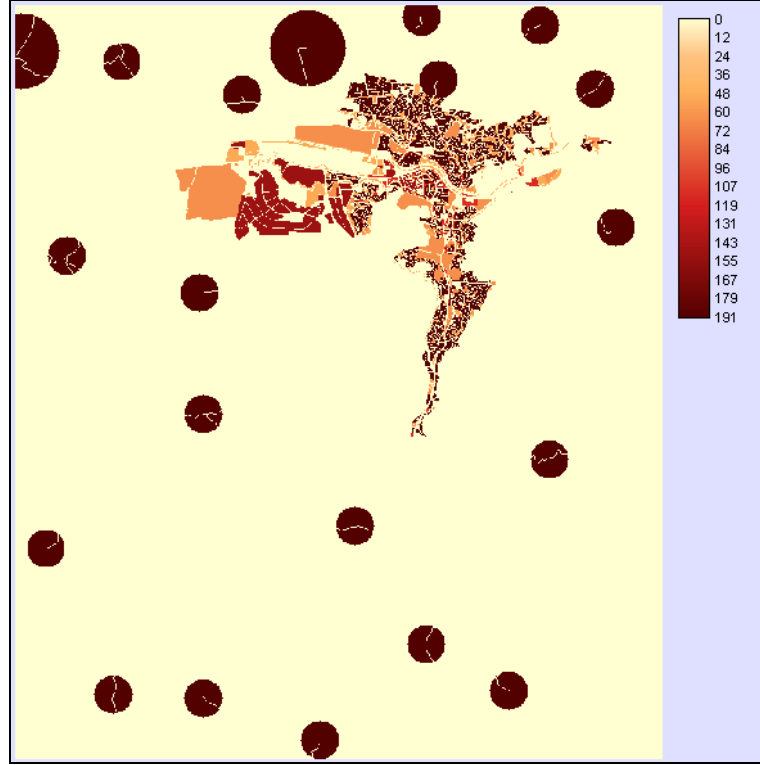
Şekil 60. MÜH KG haritası



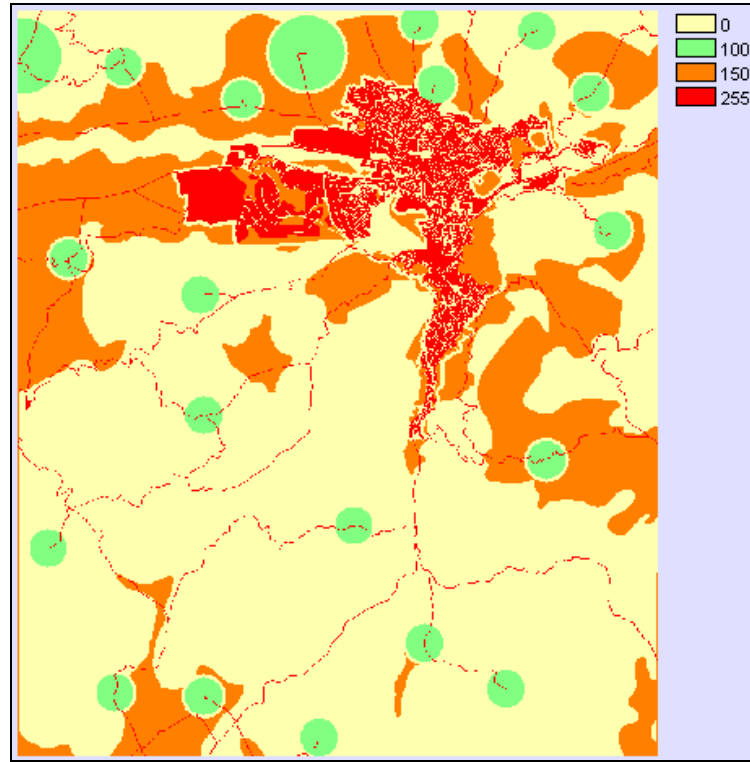
Şekil 61. TRAF KG haritası



Şekil 62. ÇEV KG haritası



Şekil 63. SOS KG haritası



Şekil 64. ARZKUL KG haritası

2.3.4.4. Ağırlıklı Maliyet Yüzeylerinin (AMY) Oluşturulması

KG'lerin kendi içerisindeki karşılaştırmalar bittikten ve KG haritaları oluşturulduktan sonra, KG haritaları farklı ağırlıklarla birleştirilerek Ağırlıklı Maliyet Yüzeyi (AMY) haritaları oluşturulmuştur. Bu AMY'ler, en uygun güzergâhın tespit edilmesinde kullanılmışlardır.

KG'ler için uygulanacak ağırlıkların değiştirilmesi demek yeni bir AMY elde etmek demektir ki bu da farklı bir en uygun güzergâh belirlemek demektir. Dolayısıyla, KG'lerin ağırlıkları konusunda farklı seçimler yaparak farklı “değerlendirme setleri” oluşturmak ve farklı bir “en uygun güzergâh” bulmak mümkündür. Uygulamada bu özellik karar vericiye oldukça geniş imkanlar sunmaktadır. Örneğin, karar verici sadece ekonomik kriterleri göz önünde tutmak isteyebilir ya da sadece çevresel ve sosyal kriterlere dikkat etmesi durumunda güzergâhın nasıl geçirileceğini görmek isteyebilir. Bu şekilde çeşitli kombinasyonlar uygulayarak çok sayıda AMY ve dolayısıyla da çok sayıda alternatif güzergâh elde etmek mümkündür (Güzergâh alternatiflerinin elde edilmesi konusu aşağıda açıklanmaktadır). Bu çalışmada, 8 değerlendirme seti uygulanmıştır:

1-EKON: Bu değerlendirme setinde; EKON KG'nin ağırlığı 1, diğer KG'lerin ağırlıkları 0 olarak alınmıştır (Tablo 28.). Yani; sadece EKON KG'deki kriterler dikkate alınmış, diğer kriterlere yer verilmemiştir. Bu sebeple de, EKON KG'deki kriterlerin KG içerisindeki ağırlıkları, aynı zamanda süreç içerisindeki ağırlıkları olmuştur. Dolayısıyla, AMY haritası da EKON KG haritasıyla aynıdır (Şekil 59.). Ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

2-MÜH: Bu değerlendirme setinde; MÜH KG'nin ağırlığı 1, diğer KG'lerin ağırlıkları 0 olarak alınmıştır (Tablo 29.). Yani; sadece MÜH KG'deki kriterler dikkate alınmış, diğer kriterlere yer verilmemiştir. Bu sebeple de, MÜH KG'deki kriterlerin KG içerisindeki ağırlıkları, aynı zamanda süreç içerisindeki ağırlıkları olmuştur. Dolayısıyla, AMY haritası da MÜH KG haritasıyla aynıdır (Şekil 60.). Ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

3-TRAF: Bu değerlendirme setinde TRAF KG'nin ağırlığı 1, diğer KG'lerin ağırlıkları 0 olmuştur (Tablo 30.). Yani; sadece TRAF KG'deki kriterler dikkate alınmış, diğer kriterlere yer verilmemiştir. Bu sebeple de, TRAF KG'deki kriterlerin KG içerisindeki ağırlıkları, aynı zamanda süreç içerisindeki ağırlıkları olmuştur. Dolayısıyla,

AMY haritası da TRAF KG haritasıyla aynıdır (Şekil 61.). Ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

4-ÇEV: Bu değerlendirme setinde; ÇEV KG'nin ağırlığı 1, diğer KG'lerin ağırlıkları 0 olarak alınmıştır (Tablo 31.). Yani; sadece ÇEV KG'deki kriterler dikkate alınmış, diğer kriterlere yer verilmemiştir. Bu sebeple de, ÇEV KG'deki kriterlerin KG içerisindeki ağırlıkları, aynı zamanda süreç içerisindeki ağırlıkları olmuştur. Dolayısıyla, AMY haritası da ÇEV KG haritasıyla aynıdır (Şekil 62.). Ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

5-SOS: Bu değerlendirme setinde; SOS KG'nin ağırlığı 1, diğer KG'lerin ağırlıkları 0 olarak alınmıştır (Tablo 32.). Yani; sadece SOS KG'deki kriterler dikkate alınmış, diğer kriterlere yer verilmemiştir. Bu sebeple de, SOS KG'deki kriterlerin KG içerisindeki ağırlıkları, aynı zamanda süreç içerisindeki ağırlıkları olmuştur. Dolayısıyla, AMY haritası da SOS KG haritasıyla aynıdır (Şekil 63.). Ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

6-ARZKUL: Bu değerlendirme setinde; ARZKUL KG'nin ağırlığı 1, diğer KG'lerin ağırlıkları 0 olarak alınmıştır (Tablo 33.). Yani; sadece ARZKUL KG'deki kriterler dikkate alınmış, diğer kriterlere yer verilmemiştir. Bu sebeple de, ARZKUL KG'deki kriterlerin KG içerisindeki ağırlıkları, aynı zamanda süreç içerisindeki ağırlıkları olmuştur. Dolayısıyla, AMY haritası da ARZKUL KG haritasıyla aynıdır (Şekil 64.). Ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

7-ESİT: Bu değerlendirme setinde; bütün KG'lerin ağırlıkları eşit, yani (1/6) olarak alınmıştır (Tablo 34.). Oluşan AMY Şekil 65.'te ve ortaya çıkan güzergâh Şekil 67.'de görülmektedir.

Tablo 28. “1-EKON” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
EKON	EKON	1	Maliyet	0,54	0,54
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,30
			Turizm gelişimi	0,16	0,16
	MÜH	0	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,00
			Jeolojik yapı	0,21	0,00
			Topoğrafya	0,35	0,00
			Yapı güvenliği	0,35	0,00
	TRAF	0	Konfor	0,05	0,00
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,00
			Güvenlik	0,50	0,00
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,00
			Yaya hareketleri	0,12	0,00
	ÇEV	0	Erozyon	0,14	0,00
			Gürültü	0,08	0,00
			Ormanlar	0,11	0,00
			Su kirliliği	0,19	0,00
			Toprak kirliliği	0,15	0,00
			Yaban hayatı	0,08	0,00
			Hava kirliliği	0,25	0,00
	SOS	0	Toplum etkinlikleri	0,25	0,00
			Yeniden yerleşim	0,75	0,00
	ARZKUL	0	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,00

Tablo 29. “2-MÜH” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
MÜH	EKON	0	Maliyet	0,54	0,00
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,00
			Turizm gelişimi	0,16	0,00
	MÜH	1	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,09
			Jeolojik yapı	0,21	0,21
			Topoğrafya	0,35	0,35
			Yapı güvenliği	0,35	0,35
	TRAF	0	Konfor	0,05	0,00
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,00
			Güvenlik	0,50	0,00
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,00
			Yaya hareketleri	0,12	0,00
	ÇEV	0	Erozyon	0,14	0,00
			Gürültü	0,08	0,00
			Ormanlar	0,11	0,00
			Su kirliliği	0,19	0,00
			Toprak kirliliği	0,15	0,00
			Yaban hayatı	0,08	0,00
			Hava kirliliği	0,25	0,00
	SOS	0	Toplum etkinlikleri	0,25	0,00
			Yeniden yerleşim	0,75	0,00
	ARZKUL	0	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,00

Tablo 30. “3-TRAF” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
TRAF	EKON	0	Maliyet	0,54	0,00
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,00
			Turizm gelişimi	0,16	0,00
	MÜH	0	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,00
			Jeolojik yapı	0,21	0,00
			Topoğrafya	0,35	0,00
			Yapı güvenliği	0,35	0,00
	TRAF	1	Konfor	0,05	0,05
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,22
			Güvenlik	0,50	0,50
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,11
			Yaya hareketleri	0,12	0,12
	ÇEV	0	Erozyon	0,14	0,00
			Gürültü	0,08	0,00
			Ormanlar	0,11	0,00
			Su kirliliği	0,19	0,00
			Toprak kirliliği	0,15	0,00
			Yaban hayatı	0,08	0,00
			Hava kirliliği	0,25	0,00
	SOS	0	Toplum etkinlikleri	0,25	0,00
			Yeniden yerleşim	0,75	0,00
	ARZKUL	0	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,00

Tablo 31. “4-ÇEV” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
ÇEV	EKON	0	Maliyet	0,54	0,00
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,00
			Turizm gelişimi	0,16	0,00
	MÜH	0	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,00
			Jeolojik yapı	0,21	0,00
			Topoğrafya	0,35	0,00
			Yapı güvenliği	0,35	0,00
	TRAF	0	Konfor	0,05	0,00
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,00
			Güvenlik	0,50	0,00
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,00
			Yaya hareketleri	0,12	0,00
	ÇEV	1	Erozyon	0,14	0,14
			Gürültü	0,08	0,08
			Ormanlar	0,11	0,11
			Su kirliliği	0,19	0,19
			Toprak kirliliği	0,15	0,15
			Yaban hayatı	0,08	0,08
			Hava kirliliği	0,25	0,25
	SOS	0	Toplum etkinlikleri	0,25	0,00
			Yeniden yerleşim	0,75	0,00
	ARZKUL	0	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,00

Tablo 32. “5-SOS” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

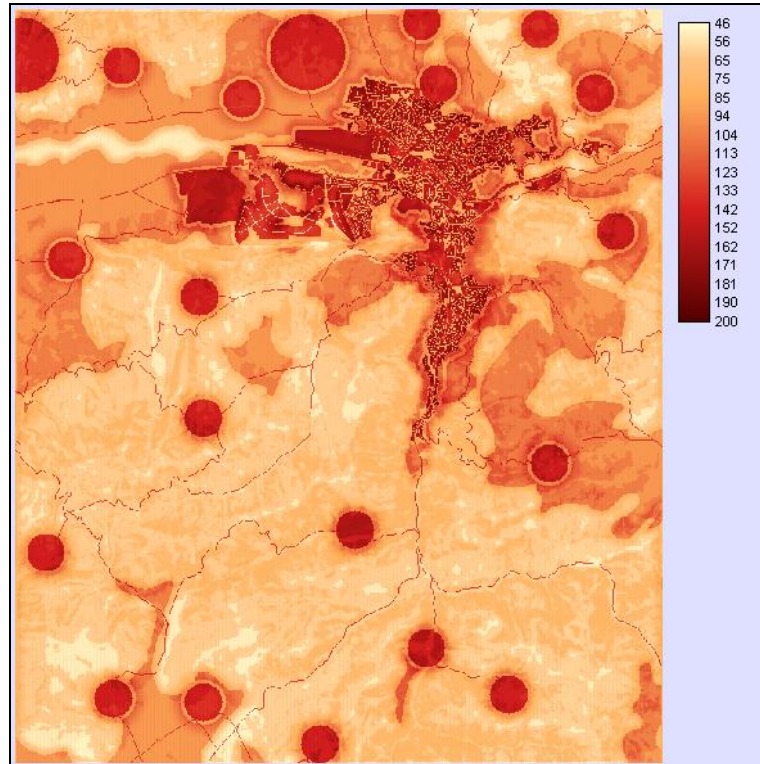
DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
SOS	EKON	0	Maliyet	0,54	0,00
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,00
			Turizm gelişimi	0,16	0,00
	MÜH	0	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,00
			Jeolojik yapı	0,21	0,00
			Topoğrafya	0,35	0,00
			Yapı güvenliği	0,35	0,00
	TRAF	0	Konfor	0,05	0,00
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,00
			Güvenlik	0,50	0,00
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,00
			Yaya hareketleri	0,12	0,00
	ÇEV	0	Erozyon	0,14	0,00
			Gürültü	0,08	0,00
			Ormanlar	0,11	0,00
			Su kirliliği	0,19	0,00
			Toprak kirliliği	0,15	0,00
			Yaban hayatı	0,08	0,00
			Hava kirliliği	0,25	0,00
	SOS	1	Toplum etkinlikleri	0,25	0,25
			Yeniden yerleşim	0,75	0,75
	ARZKUL	0	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,00

Tablo 33. “6-ARZKUL” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
ARZKUL	EKON	0	Maliyet	0,54	0,00
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,00
			Turizm gelişimi	0,16	0,00
	MÜH	0	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,00
			Jeolojik yapı	0,21	0,00
			Topoğrafya	0,35	0,00
			Yapı güvenliği	0,35	0,00
	TRAF	0	Konfor	0,05	0,00
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,00
			Güvenlik	0,50	0,00
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,00
			Yaya hareketleri	0,12	0,00
	ÇEV	0	Erozyon	0,14	0,00
			Gürültü	0,08	0,00
			Ormanlar	0,11	0,00
			Su kirliliği	0,19	0,00
			Toprak kirliliği	0,15	0,00
			Yaban hayatı	0,08	0,00
			Hava kirliliği	0,25	0,00
	SOS	0	Toplum etkinlikleri	0,25	0,00
			Yeniden yerleşim	0,75	0,00
	ARZKUL	1	Arazi kullanımı değişimi	1,00	1,00

Tablo 34. “7-EŞİT” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
EŞİT	EKON	1/6	Maliyet	0,54	0,09
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,05
			Turizm gelişimi	0,16	0,03
	MÜH	1/6	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,02
			Jeolojik yapı	0,21	0,04
			Topoğrafya	0,35	0,06
			Yapı güvenliği	0,35	0,06
	TRAF	1/6	Konfor	0,05	0,01
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,04
			Güvenlik	0,50	0,08
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,02
			Yaya hareketleri	0,12	0,02
	ÇEV	1/6	Erozyon	0,14	0,02
			Gürültü	0,08	0,01
			Ormanlar	0,11	0,02
			Su kirliliği	0,19	0,03
			Toprak kirliliği	0,15	0,03
			Yaban hayatı	0,08	0,01
			Hava kirliliği	0,25	0,04
	SOS	1/6	Toplum etkinlikleri	0,25	0,04
			Yeniden yerleşim	0,75	0,13
	ARZKUL	1/6	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,17



Şekil 65. “7-EŞİT” değerlendirme seti için oluşturulan AMY

8-AHY'Lİ: Bu değerlendirme setinde; KG ağırlıklarının belirlenmesinde AHY kullanılmıştır. KG haritalarının her biri bir kriter gibi düşünülerek WEIGHT modülü kullanılmış, böylece Tablo 35.'deki matris ve KG ağırlıkları elde edilmiştir.

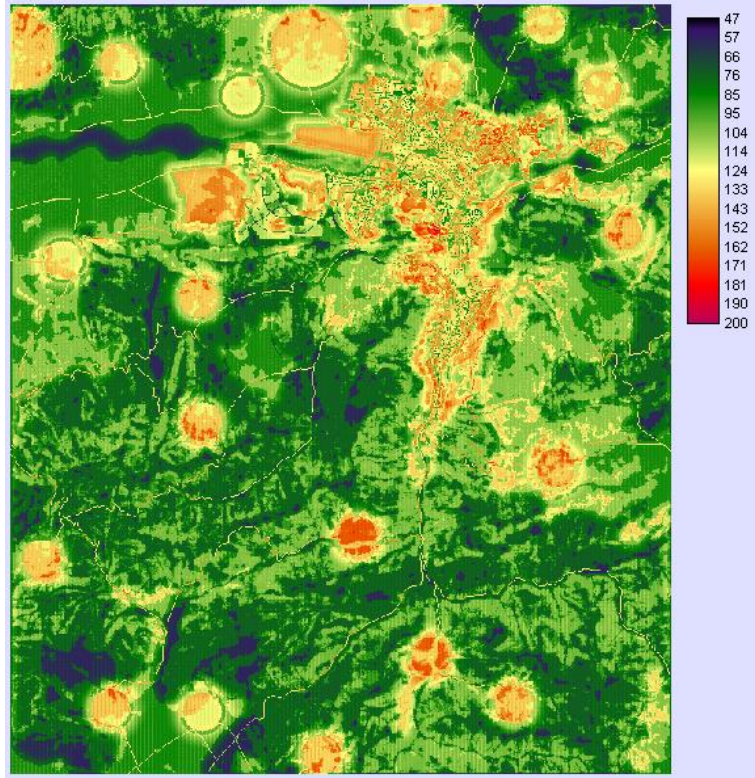
Tablo 35. “8-AHY’Lİ” değerlendirme seti için ikili karşılaştırmalar matrisi

AHY'Lİ	EKON	MÜH	TRAF	ÇEV	SOS	ARZKUL	Ağırlıklar
EKON	1						0,15
MÜH	2	1					0,33
TRAF	1	1/2	1				0,19
ÇEV	1	1/2	1	1			0,16
SOS	1/2	1/4	1/3	1/2	1		0,08
ARZKUL	1	1/4	1/3	1/2	1	1	0,09
TO = 0,02 – Tutarlı							

Elde edilen ağırlıklar ve KG haritaları kullanılarak, MCE modülü vasıtasıyla bu değerlendirme setinde kullanılacak AMY elde edilmiştir (Şekil 66.). Her bir kriterin süreç üzerindeki ağırlığı Tablo 36.’daki gibi olmuştur. Elde edilen güzergâh Şekil 67.’de görülmektedir.

Tablo 36. “8-AHY’Lİ” değerlendirme seti için KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
AHY'Lİ	EKON	0,15	Maliyet	0,54	0,08
			Ticaret ve sanayi	0,30	0,05
			Turizm gelişimi	0,16	0,02
	MÜH	0,33	Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,03
			Jeolojik yapı	0,21	0,07
			Topoğrafya	0,35	0,12
			Yapı güvenliği	0,35	0,12
	TRAF	0,19	Konfor	0,05	0,01
			Ulaşılabilirlik	0,22	0,04
			Güvenlik	0,50	0,10
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,02
			Yaya hareketleri	0,12	0,02
	ÇEV	0,16	Erozyon	0,14	0,02
			Gürültü	0,08	0,01
			Ormanlar	0,11	0,02
			Su kirliliği	0,19	0,03
			Toprak kirliliği	0,15	0,02
			Yaban hayatı	0,08	0,01
			Hava kirliliği	0,25	0,04
	SOS	0,08	Toplum etkinlikleri	0,25	0,02
			Yeniden yerleşim	0,75	0,06
	ARZKUL	0,09	Arazi kullanımı değişimi	1,00	0,09



Şekil 66. “8-AHY’Lİ” değerlendirme seti için oluşturulan AMY

2.3.4.5. Güzergâh Alternatiflerinin Oluşturulması

Çeşitli CBS yazılımları, farklı maliyet yüzeyi oluşturma ve güzergâh bulma fonksiyonları-algoritmaları kullanırlar. Örneğin, ArcGIS yazılımı Dijkstra Algoritmasına dayalı olan “cost distance” fonksiyonunu, GRASS yazılımı “Shortest Path” algoritmasını kullanır. Her algoritmanın diğerlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Yıldırım, 2009). IDRISI’de, AMY üzerinde güzergâh alternatifi geliştirmek için COST ve PATHWAY modülleri kullanılmaktadır.

COST modülü; girilen başlangıç (kaynak) hücrelerini (veya hücrelerini) temel alır ve bütün hücreler için birikimli maliyet değerlerini hesaplayarak bir harita oluşturur. Yani, kaynak hücresinden diğer hücrelerin her birine gidiş sırasında oluşacak minimum maliyetleri hesaplar ve bir harita oluşturur. COST modülünün kullanımında, önce kullanılacak algoritma seçilir. COST modülü, birikimli maliyet yüzeyinin oluşturulması için 2 algoritma seçeneği sunar: pushbroom (süpürge itme) algoritması ve growth (büyüme) algoritması. Aslında bu algoritmalar COSTPUSH ve COSTGROW adlı farklı 2 modüle yerleştirilmişlerdir: COST modülü sadece bu iki algoritmadan hangisinin

seçileceğini belirleyen bir programdır. COSTPUSH’da kullanılan algoritma, COSTGROW’da kullanılandan oldukça hızlı bir algoritmadır ancak karmaşık sürtünme yüzeylerinde kullanılamama dezavantajı vardır.

Bu çalışmada COSTPUSH algoritması kullanılmıştır. Bu algorithmada, önce başlangıç hücresini / hücrelerini 0’dan farklı değerlerle belirten dosyanın adı (source feature image) girilmelidir. Bu çalışmada, başlangıç ve bitiş için tek bir nokta veya hücre kullanılması yerine, çevre yolunun bağlanacağı mevcut karayolları üzerinde, mevcut TÇY projesinin başlangıç ve bitiş noktalarını içinde bulunduran yaklaşık 500’er m uzunluğunda yol kesimleri kullanılmıştır. İstenirse bu başlangıç-bitiş çizgileri daha uzun tutulabilir ve böylece, modele daha uygun güzergâhlar geliştirmek için farklı başlangıç-bitiş noktaları kullanma özgürlüğü tanınabilir.

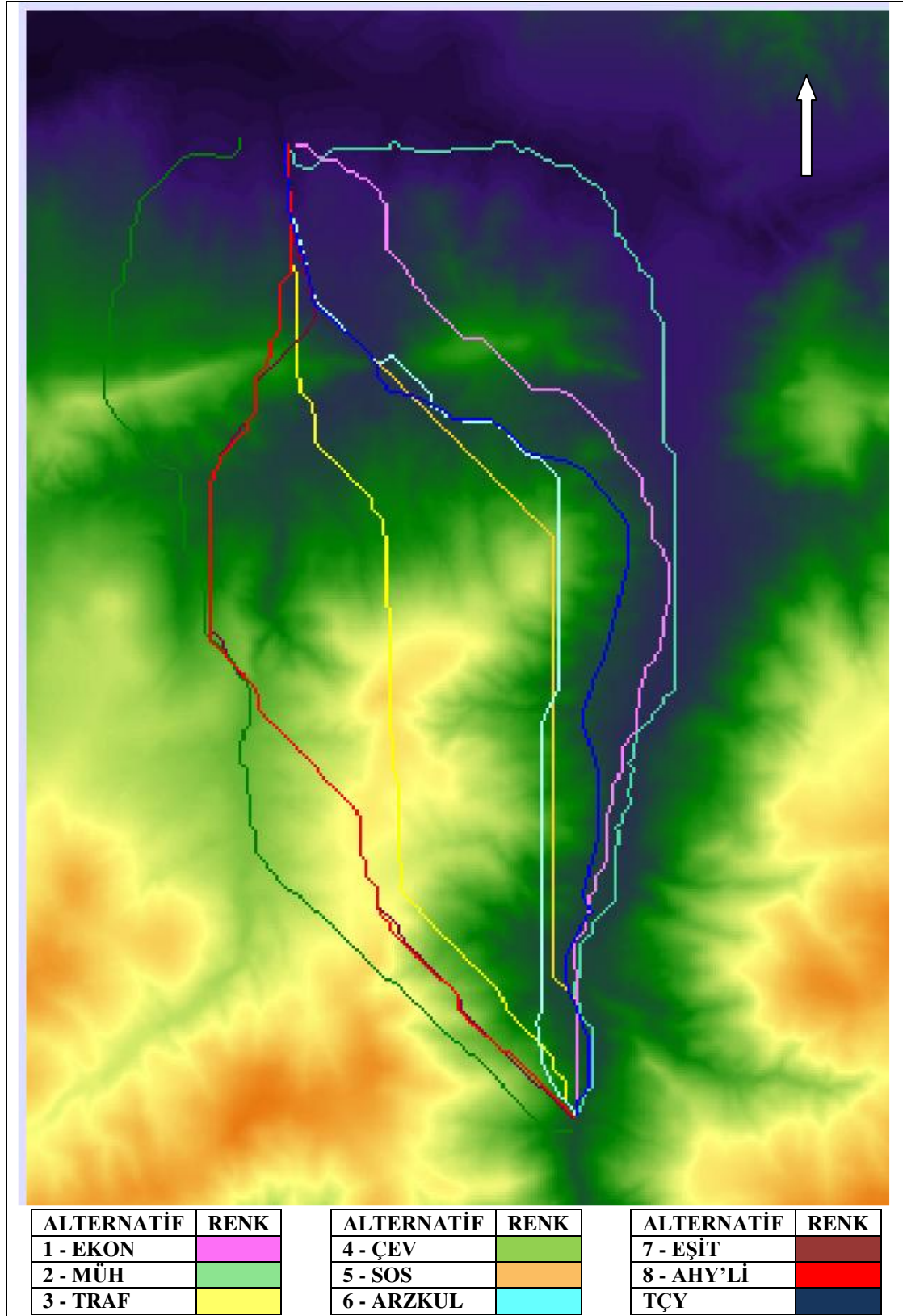
Daha sonra, sürtünme yüzeyi haritası (friction surface image) girilmelidir. Bu çalışmada, sürtünme yüzeyi haritası olarak, yukarıda oluşturulan AMY haritaları kullanılmıştır. Ancak; AMY haritalarında, birinci aşamada tespit edilen kullanılamayacak alanların kullanımı engellenmiştir.

En sonda ise, birikimli maliyet yüzeyini gösteren sonuç harita (output image) için bir isim girilmelidir. COSTPUSH üzerine daha fazla bilgi için, Eastman (1989) incelenebilir.

PATHWAY modülü, bir birikimli maliyet yüzeyi üzerinde, belirtilen başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki en düşük maliyetli güzergâhı bulmak için kullanılır.

PATHWAY, ilk olarak maliyet yüzeyi (cost surface) haritasının girilmesini ister. Bu harita COST modülüyle oluşturulan, “birikimli maliyet yüzeyi haritası” olarak adlandırılan haritadır. PATHWAY daha sonra bitiş (hedef) dosyasının adını ister. Yukarıda belirtildiği gibi, bitiş için tek bir hücre yerine çizgi şeklinde bir yol kesimi kullanılmıştır. En sonda ise sonuç haritanın (output image) isminin girilmesini talep eder. OK düğmesine basılması sonucu elde edilen harita, güzergâhı temsil eden hücrelerin 1 değerini aldığı, diğer hücrelerin 0 değerini aldığı Boolean bir haritadır.

Her AMY için sözü edilen iki modül (COST ve PATHWAY) ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Elde edilen 8 farklı güzergâh alternatifiyle beraber mevcut TÇY güzergâhının DEM haritasına eklenmiş hali Şekil 67.’de görülebilmektedir (inceleme kolaylığı sağlamak için haritanın ilgili bölümü kesilip büyütülmüştür). Seçim işlemi 3. aşamada yapılacaktır.



Şekil 67. Bütün alternatiflerin DEM üzerinde gösterimi

Şekil 67'deki güzergah alternatifleri incelendiğinde, elde edilen güzergah alternatifleriyle ilgili olarak şunlar söylenebilir:

- TÇY; Sivas tarafından (güneyden) gelirken bir miktar 700 m kotlardaki mevcut Sivas-Tokat yolunu takip etmekte, sonra hafifçe batıya yönelerek Hac Dağı'nın eteklerinde 800 m. kotlara çıkmakta, bu kotlarda güney-kuzey istikametinde devam ettikten sonra tekrar batıya yönelerek Tokat Kalesi'nin arkasını dolaşmakta ve 600 m kotlardaki Turhal Yolu'na bağlanmaktadır.
- 1-EKON alternatifi; haritanın güney taraflarında bir miktar TÇY'yi takip ettikten sonra onun doğu tarafından devam etmekte ve büyük ölçüde mevcut şehir içi yolu takip etmektedir. Haritanın kuzey taraflarında mevcut şehir içi yolu terk ederek batıya yönelmekte ve Tokat Kalesi'nin güney batı eteklerini takip ederek Turhal Yolu'na bağlanmaktadır. Sadece ekonomik kriterleri dikkate alan bu alternatifi büyük ölçüde mevcut şehir içi yolu takip ediyor olması beklenen bir durumsa da, bu güzergah bir çevre yolu için uygun değildir.
- 2-MÜH alternatifi; neredeyse tamamen mevcut şehir içi yolu takip etmektedir. Yalnızca mühendislik kriterlerini dikkate alan bu alternatifi çalışma alanındaki en düz alanlardan geçiyor olması, söz konusu kriterlerin standardizasyonunda kullanılan varsayımlarla uyumludur. Ancak, 1-EKON alternatifinde olduğu gibi, bu alternatif de tamamen yerleşimlerden geçmektedir ve bu sebeple bir çevre yolu olamaz.
- 3-TRAF alternatifi; mevcut Sivas-Tokat yolundan hemen ayrılmakta ve batıya yönelerek Hac Dağı'nın tepesindeki 1000 m kotlarda bir miktar devam ettikten sonra en kısa bir şekilde Turhal Yolu'na bağlanmaktadır. Yalnızca trafik ile ilgili kriterlere göre belirlenen bu alternatifi, kriter tanımlarına uygun olarak yerleşimlerden tamamen uzak ve mümkün olduğu kadar kısa bir güzergah izlediği görülmektedir. Büyük ölçüde dağın zirvesinden geçen bu alternatifi uygulanabilirliğini artırmak için tünel kullanımı düşünülebilirse de, gerekli tünelin uzunluğunun bir hayli fazla olacağı görülmektedir.
- 4-ÇEV alternatifi; mevcut Sivas-Tokat yolundan hemen ayrılmakta ve batıya yönelerek Hac Dağı'nın tepesindeki 1100 m kotlardan geçmekte, daha batıdaki 800 m kotlardaki düzlük vadiyi takip ederek Turhal Yolu'na bağlanmaktadır. Yerleşimlerin en uzağından geçen alternatifi bu olması, çevresel kriterlerin standardizasyonunda kullanılan yaklaşımlarla uyumludur. Mevcut haliyle gereksiz

bazı yüksekliklere tırmandığı gözlenen alternatifte zirvedeki kısımda bir tünel ve bazı yerlerde kardırmalar yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Uzunlukta ikinci olan alternatifin yerleşimlerin çok uzağından geçiyor olması şehrin gelişimine yapacağı katkıyı sınırlandırmaktadır.

- 5-SOS alternatifi, TÇY'ye paralel ve yakın ancak ondan daha üst kotları takip etmekte, dolayısıyla yerleşimlerin biraz daha uzağından geçmektedir. Genel olarak Hac dağı'nın yamaçlarını izleyen bu alternatif de TÇY gibi Tokat Kalesi'nin arkasını dolaşarak Turhal Yolu'na bağlanmaktadır. Bir çevre yolunun işlevlerine uygun ve uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.
- 6-ARZKUL alternatifi; bir önceki alternatif olan 5-SOS alternatifine çok yakındır ve onun için söylenenlerin aynısı bu alternatif için de söylenebilir.
- 7-EŞİT alternatifi; bir sonraki alternatif olan 8-AHY'Lİ alternatifine çok yakın, hatta büyük ölçüde aynıdır.
- 8-AHY'Lİ alternatifi; mevcut Sivas-Tokat yolundan hemen ayrılmakta, batıya yönelerek Hac Dağı'nın tepesinden, yaklaşık 1000 m kotlardan geçmekte, daha batıdaki 800 m kotlardaki düzlük vadiyi takip ederek Turhal Yolu'na bağlanmaktadır. TÇY'den oldukça farklı olan bu alternatif, Hac Dağı'nın batı tarafından, yani TÇY'ye göre yerleşimlerin daha uzağından geçmektedir. Diğer taraftan, yerleşimlere 4-ÇEV alternatifi kadar uzak olmayan alternatifin, kentin gelişmesine katkıda bulunacağı tahmin edilmektedir. Uygulanabilir olduğu ve bir çevre yolundan beklenen işlevleri gerçekleştirebileceği düşünülen bu alternatifin tek olumsuz yönü, güney taraflarda yüksek kotlara tırmanıyor oluşudur ki bu olumsuzluk da zirvedeki kısımda tünel ve bazı yerlerde kaydirmalar yapılarak giderilebilir.

2.3.5. Üçüncü Aşama

Bu aşama, ikinci aşamada oluşturulan güzergâh alternatiflerinin karşılaştırıldığı aşamadır. Bu aşamada sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmiştir:

- Kriterlerin belirlenmesi,
- Kriterlerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ve ağırlıklarının belirlenmesi,
- Güzergâh alternatifleri için kriter maliyetlerinin hesaplanması,

- Güzergâh alternatifleri için toplam maliyetlerin hesaplanması,
- En uygun güzergâh alternatifinin seçilmesi.

2.3.5.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Bu aşamadaki kriterlerin çoğu, ikinci aşamada da zaten yer alan kriterlerdir. Ancak; ikinci aşamada kriterler belirlenirken, bazı kriterlerin, güzergâh belli olmadan dikkate alınmalarının mümkün olmadığı belirtilmişti. Bu aşamada, artık güzergâh/güzergâhlar belli olduğundan, ikinci aşamadaki kriterlere ek olarak, ikinci aşamada değerlendirmeye alınamamış kriterleri de dikkate almak mümkün olabilmektedir. Dolayısıyla, bu aşamadaki kriter sayısı daha fazladır.

Üçüncü aşamada, ikinci aşamadan farklı olarak kullanılan kriterler şunlardır:

- EKON KG’de “İyileştirme İmkânı” kriteri,
- ÇEV KG’de “Enerji” kriteri,
- SOS KG’de “Halkın Tercih” kriteri,
- SOS KG’de “Sivil Toplum Kuruluşları’nın (STK) Tercih” kriteri.

Bütün kriterlerin yer verildiği ve kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılacak olan hiyerarşi şeması Tablo 37.’de görülmektedir.

Tablo 37. Üçüncü aşama için oluşturulan hiyerarşi şeması

0- OPTİMUM GÜZERGAH					
1- EKONOMİK KG (EKON)	2- MÜHENDİSLİK KG (MÜH)	3- TRAFİK KG (TRAF)	4- ÇEVRESEL KG (ÇEV)	5- SOSYAL KG (SOS)	6- ARAZİ KUL. KG (ARZKUL)
* Maliyet * Turizm Gelişimi * Ticaret ve Sanayi Gelişimi * İyileştirme İmkânı	* Topoğrafya * Jeolojik Yapı * Yapı Güvenliği * Bakı ve İklim Koşulları	* Konfor * Ulaşılabilirlik * Trafik Güvenliği * Diğer Modlarla Uyum * Yaya Hareketleri	* Erozyon * Hava Kirliliği * Gürültü * Su Kirliliği * Ormanlar * Yaban Hayatı * Toprak Kirliliği * Enerji	* Yeniden Yerleşim * Toplum Etkinlikleri * Halkın Tercih * STK’ların Tercih	* Arazi Kullanımı Değişimi

2.3.5.2. Hiyerarşinin Oluşturulması ve Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Belirtildiği gibi, üçüncü aşamadaki kriter sayısı ikinci aşamadakinden farklıdır. Bu da kriter ağırlıklarının da ikinci aşamadakilerden farklı olmasını beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla, üçüncü aşama için de hiyerarşi şeması ve AHY kullanılarak ağırlıkların belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada da her KG için ikili karşılaştırmalar matrisleri oluşturulmuş ve kriter ağırlıklarıyla beraber tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Burada bu matrisler verilmemiş, ancak hesaplanan ağırlıklar sunulmuştur (Tablo 38.).

Tablo 38. Üçüncü aşama için AHY ile hesaplanan KG ve kriter ağırlıkları

DEĞ. SETİ	KRİTER GRUPLARI	KG AĞIRLIĞI	KRİTERLER	KRİTERİN KG İÇİ AĞIRLIĞI	KRİTERİN GENEL AĞIRLIĞI
AHY'Lİ	EKON	0,15	Maliyet	0,58	0,09
			Turizm	0,16	0,02
			Ticari ve Endüstriyel Gelişim	0,16	0,02
			İyileştirme imkanı	0,10	0,02
	MÜH	0,33	Topoğrafya	0,35	0,12
			Jeolojik yapı	0,21	0,07
			Yapı güvenliği	0,35	0,12
			Bakı ve iklim koşulları	0,09	0,03
	TRAF	0,19	Konfor	0,07	0,01
			Ulaşılabilirlik	0,15	0,03
			Güvenlik	0,46	0,09
			Diğer modlarla bağlantı	0,11	0,02
			Yaya hareketleri	0,21	0,04
	ÇEV	0,16	Erozyon	0,11	0,02
			Yerel hava kirliliği	0,15	0,02
			Gürültü	0,07	0,01
			Su kirliliği	0,17	0,03
			Enerji	0,09	0,01
			Ormanlar	0,13	0,02
			Yaban hayatı	0,10	0,02
			Toprak kirliliği	0,18	0,03
	SOS	0,08	Yeniden yerleşim	0,38	0,03
			Toplum etkinlikleri	0,27	0,02
			STK'ların tercihi	0,21	0,02
			Halkın tercihi	0,14	0,01
	ARZKUL	0,09	Arazi kullanımı değişimi	1	0,09

2.3.5.3. Güzergâh Alternatifleri İçin Kriter Maliyetlerinin Hesaplanması

Üçüncü aşamadaki kriterlerin ele alınma/standardize edilme yöntemleri, ikinci aşamadakinden farklıdır.

2.3.5.3.1. Döşeme Yaklaşımı

İkinci aşamada da bulunan kriterlerin üçüncü aşamadaki standardizasyonu için, çoğu kriterde kullanılan yaklaşım aynıdır. Bu yaklaşım; “ikinci aşamada hazırlanan kriter haritası üzerine her bir güzergâh alternatifinin ve TÇY’nin ayrı ayrı bindirilmesi ve altında kalan hücrelerdeki maliyet miktarının toplanması” olarak özetlenebilir. Bu yaklaşım basitçe “döşeme” olarak adlandırılmıştır. Örneğin; Şekil 68’deki dikdörtgen alanın çalışma alanını, hücreler içerisindeki rakamların ikinci aşamadaki bir kriter haritasındaki maliyet değerlerini, gri dolgulu hücrelerin de güzergah alternatifinin geçtiği hücreleri gösterdiğini varsayarsak; bu alternatifin bu kriter için sahip olacağı maliyet değeri, gri hücrelerdeki maliyet değerlerinin toplamı olan 52 olacaktır.

1	2	2	3	3	4	4	4	3	1
1	2	2	3	3	4	4	4	3	1
2	2	2	3	3	4	4	3	3	1
3	3	3	3	4	4	4	3	3	1
3	3	3	3	4	4	4	4	2	1
3	3	3	4	4	4	4	4	2	1
4	4	4	4	4	4	4	4	2	1
4	4	4	4	4	4	4	4	2	1
4	4	4	4	4	4	4	4	1	1
3	4	4	4	5	5	4	4	1	1

Şekil 68. Döşeme yaklaşımının basit gösterimi

Döşeme yaklaşımı kullanılan kriterler şunlardır:

- 3A-Maliyet
- 3A-Turizm
- 3A-Ticaret ve Sanayi Gelişimine Katkı
- 3A-Jeolojik Yapı

- 3A-Yapı Güvenliği
- Topoğrafya
- 3A-Bakı ve İklim Koşulları
- 3A-Konfor
- 3A-Trafik Güvenliği
- 3A-Yaya Hareketleri
- 3A-Erozyon
- 3A-Ormanlar
- 3A-Yaban Hayatı
- 3A-Yeniden Yerleşim
- 3A-Toplum Etkinlikleri
- 3A-Arazi Kullanımı Değişimi
- 3A-Enerji

IDRISI’de döşeme işlemi yapılırken; önce ele alınan alternatif haritası (örneğin 1-EKON) ele alınan kriter haritasının (örneğin 2A-jeoloji) üzerine eklenir (OVERLAY-Multiply kullanılarak) ve altında kalan hücrelerin maliyet değerleri toplanır (EXTRACT–Total kullanılarak).

2.3.5.3.2. Tamponlu Döşeme Yaklaşımı

Bazı kriterlerin standardizasyonu için güzergâh alternatiflerinin değil, güzergâh alternatiflerinin etrafına belirli mesafede (örneğin 200 m.) eklenmiş tampon bölgenin ikinci aşamadaki kriter haritasına bindirilmesine ve bu alanın altında kalan maliyetin toplanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu yaklaşım ise kısaca, “tamponlu döşeme” olarak adlandırılmıştır. Tamponlu döşeme yaklaşımı kullanılan kriterler ise şunlardır:

- 3A-Toprak Kirliliği
- 3A-Hava Kirliliği
- 3A-Su Kirliliği
- 3A-Gürültü
- 3A-Ulaşılabilirlik

Bu yaklaşımın IDRISI’de uygulanışı da döşeme yaklaşımındaki yöntemle benzerdir. Farklı olarak, alternatiflerin haritaları kriter haritasına eklenmeden önce etrafına tampon eklenir. Bunların dışında kalan bazı kriterler ve yalnızca üçüncü aşamada yer alan kriterler içinse yeni yaklaşımlar geliştirilmiş ve aşağıda açıklanmıştır.

2.3.5.3.3. Diğer Modlarla Uyum Kriteri (3A)

Bu kriterin standardizasyonunda, tamponlu döşeme yaklaşımına benzer bir yaklaşım kullanılmıştır; ancak burada güzergâh alternatiflerinin etrafına tampon atamak yerine, ikinci aşamada oluşturulan kriter haritasındaki “terminal” etrafına tampon atanmıştır. Bu farklı yaklaşımın sağlayacağı avantaj, ikinci aşamada oluşturulan kriter haritasındaki her nesnenin etrafına farklı mesafelerde tampon atanabilmesidir. Örneğin, bir limanın etrafına 100 m tampon atamak gerekli görülebilecekken, bir havaalanı için bu mesafenin 200 m olması istenebilir.

2.3.5.3.4. İyileştirme İmkânı Kriteri (3A)

Bu kriterin temsilinde, bütün alternatif güzergâhlar için sırasıyla; ikinci aşamada oluşturulan “Maliyet Kriteri” (2A-Maliyet) haritasına önce 100 m mesafeli tamponlu döşeme yapılmış, sonra aynı haritaya 200 m mesafeli tamponlu döşeme yapılmış, en sonda da aralarında oluşan maliyet farkı bulunmuştur. Böylece, yolun etrafında 100 m olarak seçilen etki alanının ileride 200 m’ye çıkarılması durumunda oluşacak fazladan maliyet dikkate alınmaya çalışılmıştır.

2.3.5.3.5. Halkın Tercihi Kriteri (3A)

Bu kriterin temsili için, “güzergâh alternatiflerinin halka bir anket yoluyla sunulması ve tercih ettikleri seçeneği belirtmelerinin istenmesi” yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada geniş çaplı bir anket yapılamamış, Gazi Osman Paşa Üniversitesi’ndeki personel ve öğrencilerden oluşan 40 kişilik bir grubun görüşleriyle yetinilmiştir. Ancak aynı yöntemin geniş kitlelerde kullanılabileceği aşîkardır. Her seçeneğin aldığı oylar kullanılarak

seçeneğin alacağı standardizasyon puanı belirlenmiştir. Anket sonuçları Tablo 39.’da özetlenmiştir.

Tablo 39. Halka yapılan anketin sonuçları

Güzergâh Alternatifi	Aldığı Oy Sayısı
1	5
2	3
3	2
4	3
5	1
6	2
7	6
8	10
TÇY	8

2.3.5.3.6. STK’ların Tercihi Kriteri (3A)

Bu kriter için de “Halkın Tercihi” kriterindeki yöntem kullanılabilir: Farklı olarak, anket halka değil de konuyla ilgili STK’lara yapılacaktır. Ancak bu çalışmada böyle bir anket yapılamadığından bu kriter için bütün alternatiflere 0 maliyet verilmiştir.

Anlatılan bu yaklaşımlar karmaşık ve zaman alıcı gibi gözükse de, IDRISI içerisinde bulunan modüller ve modelleme araçları sayesinde kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Macro Modeler içerisinde, aynı işlemin tekrarlanacağı durumlarda, işlem için hazırlanan model “SUBMODEL” olarak saklanabilir ve sadece girdi ve çıktı dosyalarının isimleri değiştirilerek tekrar tekrar çalıştırılabilir. Bu çalışmada da, “Döşeme” ve “Tamponlu Döşeme” yöntemleri için birer SUBMODEL oluşturulmuş ve ilgili kriterlerin standardizasyonunda bunlardan faydalanılmıştır. Ayrıca, eğer model içerisinde aynı işlem farklı dosyalar için uygulanacaksa, dosyalar .rgf uzantılı bir grup halinde bir araya getirilebilir ve girdi dosyası olarak bu grup dosyası kullanıldığında aynı işlem grup içerisindeki bütün dosyalar için tekrarlanabilir. Bu çalışmada, ikinci aşama sonunda elde edilen 8 güzergâh alternatifi ve TÇY bir grup dosyasında (secenekler.rgf) bir araya getirilmiş ve dolayısıyla bütün alternatiflerin tek seferde işlem görmesi sağlanmıştır.

8 güzergâh alternatifinin her biri ve TÇY için hesaplanan kriter maliyetleri Tablo 40.’da gösterilmiştir.

Tablo 40. Güzergâh alternatiflerinin kriter maliyetleri

KRİTER GRUBU	KRİTERLER	1	2	3	4	5	6	7	8	TÇY	MİN	MAK
EKON	Maliyet	291.164	398.399	265.111	320.388	263.718	287.556	264.208	264.976	291.026	263.718	398.399
	Turizm	86.349	108.375	83.640	94.350	80.888	86.426	84.150	84.660	91.813	80.888	108.375
	Ticari ve End. Gel.	29.450	53.918	70.329	89.813	68.272	74.030	70.717	68.700	62.663	29.450	89.813
	İyileştirme imkanı	380.243	454.417	312.164	381.760	321.914	339.346	326.817	324.015	353.655	312.164	454.417
MÜH	Topoğrafya	33.720	3.890	45.525	41.855	50.600	60.965	39.705	40.700	47.565	3.890	60.965
	Jeolojik yapı	51.500	39.865	39.100	44.200	39.000	45.225	39.350	39.600	50.705	39.000	51.500
	Yapı güvenliği	17.960	12.650	22.400	23.900	28.910	33.850	21.100	19.300	20.985	12.650	33.850
	Bakı ve iklim koş.	26.159	36.720	25.882	32.418	24.677	25.759	24.612	24.871	27.498	24.612	36.720
TRAF	Konfor	62.460	51.285	39.765	44.325	49.515	52.770	38.865	40.215	61.020	38.865	62.460
	Ulaşılabilirlik	780.368	887.479	1.894.034	2.342.608	1.776.794	1.821.638	2.032.421	2.014.649	1.409.766	780.368	2.342.608
	Güvenlik	78.221	98.709	9.623	14.657	27.636	32.575	10.070	9.818	77.547	9.623	98.709
	Diğer mod. Bağ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Yaya hareketleri	78.291	99.826	9.713	13.908	24.569	34.746	9.818	9.713	70.616	9.713	99.826
ÇEV	Erozyon	55.000	47.155	55.740	53.845	59.795	64.855	52.880	54.725	55.095	47.155	64.855
	Yerel hava kirliliği	1.814.237	2.291.102	699.815	194.945	983.448	956.119	329.368	340.955	1.588.776	194.945	2.291.102
	Gürültü	1.316.234	1.692.710	164.194	120.599	301.959	381.023	163.089	164.196	884.726	120.599	1.692.710
	Su kirliliği	802.618	1.300.461	123.719	107.123	326.939	278.958	140.662	122.576	587.907	107.123	1.300.461
	Enerji	356	425	328	370	327	356	330	332	369	327	425
	Ormanlar	6.450	0	4.650	2.100	0	0	2.250	5.850	9.885	0	9.885
	Yaban hayatı	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toprak kirliliği	610.944	733.607	655.561	150.996	929.143	919.940	283.088	297.136	1.164.524	150.996	1.164.524

Tablo 40.'in devamı

KRİTER GRUBU	KRİTERLER	1	2	3	4	5	6	7	8	TÇY	MİN	MAK
SOS	Yeniden yerleşim	6.375	25.695	1.800	14.400	0	0	0	0	0	0	25.695
	Toplum etkinlikleri	10.865	18.590	0	0	0	0	0	0	2.400	0	18.590
	STK'ların tercihi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Halkın tercihi	5	3	2	3	1	2	6	10	8	1	10
ARZKUL	Arazi kul.değ.	49.725	56.190	17.655	24.795	12.570	510	2.760	6.360	33.570	510	56.190

2.3.5.4. Güzergâh Alternatifleri İçin Toplam Maliyetlerin Hesaplanması

Kriter maliyetleri belirlendikten sonraki işlem, güzergâh alternatiflerinin kriterlerden aldıkları maliyetleri, hesaplanan kriter ağırlıklarını gözeterek birleştirmek ve her bir güzergâh alternatifi için toplam güzergâh maliyetini belirlemektir.

Kriter haritaları oluşturulurken, her kriter kendi doğasına uygun farklı bir yöntemle temsil edilmeye çalışılmıştır; her kriterin temsili için tek bir yöntem/mantık kullanılmamıştır. Bunun sonucunda da her bir kriter için hesaplanan kriter maliyetleri farklı mertebelerde olmuştur. Bu durum Tablo'nun incelenmesinden de görülmektedir. Dolayısıyla, farklı yöntemlerle/mantıklarla hesaplanan kriter maliyetlerini doğrudan birleştirmek mümkün değildir. Bu maliyetler ancak aynı ölçekte standardize edildikten sonra birleştirilebilir.

Bunun için güzergâh alternatiflerine ait kriter maliyetleri; en düşük maliyetli güzergâh alternatifinin 0 değerini alacağı, en yüksek maliyetli güzergâh alternatifinin ise 255 değerini alacağı şekilde “Doğrusal Ölçü Transformasyonu” metoduyla standardize edilmiştir (Tablo 41.). Daha sonra, bu şekilde standardize edilmiş kriter maliyetleri, ilgili kriter ağırlıklarıyla çarpıldıktan sonra toplanmış ve alternatifler için KG maliyetleri elde edilmiştir.

KG maliyetleri, Tablo 41.'de her KG'nin en alt satırında verilmiştir. KG maliyetleri de hesaplanan ağırlıklarla (Tablo 40.'da her KG'nin en alt satırında parantez içerisinde verilen ağırlıklar) birleştirildiğinde, güzergâh alternatiflerinin toplam maliyetleri ortaya çıkmıştır (Tablo 42.).

Tablo 41. Standardize edilmiş kriter maliyetleri

KG	KRİTERLER	Kriter ağır.	STANDARDİZE EDİLMİŞ								
			1	2	3	4	5	6	7	8	TÇY
EKON	Maliyet	0,58	52	255	3	107	0	45	1	2	52
	Turizm	0,16	51	255	26	125	0	51	30	35	101
	Ticari ve End. Gelişim	0,16	0	103	173	255	164	188	174	166	140
	İyileştirme imkanı	0,1	122	255	0	125	17	49	26	21	74
EKON KG (0,15)			50	231	33	135	28	69	36	36	76
MÜH	Topoğrafya	0,35	133	0	186	170	209	255	160	164	195
	Jeolojik yapı	0,21	255	18	2	106	0	127	7	12	239
	Yapı güvenliği	0,35	64	0	117	135	196	255	102	80	100
	Bakı ve iklim koşulları	0,09	33	255	27	164	1	24	0	5	61
MÜH KG (0,33)			125	27	109	144	142	207	93	89	159
TRAF	Konfor	0,07	255	134	10	59	115	150	0	15	239
	Ulaşılabilirlik	0,15	0	17	182	255	163	170	204	201	103
	Güvenlik	0,46	196	255	0	14	52	66	1	1	194
	Diğer modlarla bağlantı	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Yaya hareketleri	0,21	194	255	0	12	42	71	0	0	172
TRAF KG (0,19)			149	183	28	52	65	81	31	31	158
ÇEV	Erozyon	0,11	113	0	124	96	182	255	82	109	114
	Yerel hava kirliliği	0,15	197	255	61	0	96	93	16	18	170
	Gürültü	0,07	194	255	7	0	29	42	7	7	124
	Su kirliliği	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Enerji	0,09	75	255	3	112	0	75	8	13	109
	Ormanlar	0,13	166	0	120	54	0	0	58	151	255
	Yaban hayatı	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toprak kirliliği	0,18	116	147	127	0	196	193	33	37	255
ÇEV KG (0,16)			105	105	62	28	72	87	26	43	136
SOS	Yeniden yerleşim	0,38	63	255	18	143	0	0	0	0	0
	Toplum etkinlikleri	0,27	149	255	0	0	0	0	0	0	33
	STK'ların tercihi	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Halkın tercihi	0,14	142	198	227	198	255	227	113	0	57
SOS KG (0,08)			84	194	39	82	36	32	16	0	17
ARZKUL	Arazi kul.değişimi	1	225	255	79	111	55	0	10	27	151
ARZKUL KG (0,09)			225	255	79	111	55	0	10	27	151

Tablo 42. Güzergâh alternatiflerinin maliyetleri

Değerlen. Seti	Güzergâh alternatifleri								
	1	2	3	4	5	6	7	8	TÇY
AHY'Lİ	121	133	66	99	83	111	48	50	131
EŞİT	123	166	58	92	66	79	35	38	116
EKON	50	231	33	135	28	69	36	36	76
MÜH	125	27	109	144	142	207	93	89	159
TRAF	149	183	28	52	65	81	31	31	158
ÇEV	105	105	62	28	72	87	26	43	136
SOS	84	194	39	82	36	32	16	0	17
ARZKUL	121	133	66	99	83	111	48	50	131

2.3.5.5. En Uygun Güzergâh Alternatifinin Seçilmesi

Tablo 42.'nin ilk satırında, AHY kullanılarak hesaplanan maliyetler bulunmaktadır. Bütün KG'leri birden dikkate alıyor alması bağlamında, bu çalışmada seçim yaparken kullanılacak olan maliyetler bunlardır. Bu değerlendirmeye göre; en düşük maliyetli güzergâh alternatifi, 7 numaralı güzergâh alternatifidir (48 maliyet puanlı).

Tablo'nun ikinci satırında, bütün KG'lere eşit ağırlık verilmesi durumunda güzergâh alternatiflerinin sahip olacağı maliyetler bulunmaktadır. Tabloda aşağı doğru inildiğinde, KG'ler için hesaplanan maliyetler ayrı ayrı görülmektedir. Örneğin; üçüncü satırda, EKON KG için hesaplanan maliyetler bulunmaktadır. Değerlendirmede yalnızca EKON KG'ye yer verilmesi durumunda güzergâh alternatiflerinin sahip olacağı maliyetler bunlar olacaktır. Modelde KG'ler için hesaplanan maliyetlerin de verilmiş olması, karar vericinin daha doğru şekilde değerlendirme yapmasına imkan vermektedir. Örneğin, yukarıdaki tabloya bakıldığında; seçilen alternatif olan 7 numaralı alternatifin EKON KG açısından aldığı maliyet değeri olan 36'nın, bu KG için en düşük maliyet olan 28'e çok yakın olduğu, bu KG açısından en uygun alternatiflerin sırasıyla 5, 3, 7 ve 8 numaralı alternatifler olduğu rahatlıkla anlaşılmaktadır. Ayrıca, önerilen alternatif olan 7 numaralı alternatifin; AHY'li, EŞİT, ÇEV VE ARZKUL değerlendirme setleri için 1.

sırada; TRAF ve SOS değerlendirme setleri için 2. sırada; EKON ve MÜH değerlendirme setleri içinse 3. sırada tercih edilen alternatif olduğu anlaşılmaktadır.

Eğer karar verici özellikle bir (veya birkaç) KG'ye özel önem veriyorsa, bu KG (veya KG'ler) açısından en uygun alternatif de Tablo 42.'den kolaylıkla belirlenebilir. Örneğin, karar verici için tek veya en önemli unsur ÇEV KG ise en uygun alternatifin 7 numaralı alternatif olduğu, en önemli unsur EKON KG ise en uygun alternatifin 5 numaralı alternatif olduğu bu tablodan kolaylıkla görülebilir.

3. SONUÇLAR

“Karayolu Güzergâh Tespitinde Çevresel Kriterlere de Yer Veren Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Bir Model Önerisi” başlıklı bu çalışmanın özelliği ve varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Mevcut karayolu güzergâh belirleme prosedürü dar kapsamlı olduğundan geliştirilmeye gereksinimi bulunmaktadır. Süreçte pek çok kriterin aynı anda göz önünde bulundurulması zorunlu olduğundan, önerilen modelde Çok Kriterli Değerlendirme yöntemlerinden birisi olan “Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme Yöntemi” kullanılmıştır.
- Süreçte yoğun şekilde konumsal veriyle çalışılması gerektiğinden modelde Coğrafi Bilgi Sistemleri yeteneklerinden faydalanılmış; böylece geniş alanlardaki konumsal bilgilerin doğru ve hızlı bir biçimde ele alınması mümkün kılınmıştır.
- Raster tabanlı bir CBS yazılımı olarak bilinen IDRISI, geliştirilen modelin uygulanması için gerekli bütün imkanları bünyesinde barındırmaktadır. IDRISI yazılımından faydalanılarak; güzergâh tespit sürecindeki kriter haritalarının oluşturulması/standardizasyonu, kriter ağırlıklarının belirlenmesi, kriter haritalarının birleştirilmesi, güzergâh alternatiflerinin oluşturulması ve en uygununun seçilmesi işlemleri oldukça basit ve hızlı olarak yapılabilmiştir. Öğrenilmesi ve kullanılması oldukça kolay bir yazılım olan IDRISI’nin model geliştirme araçlarından en önemlisi olan Macro Modeller, bu çalışmadaki bütün adımlarda kullanılmış, böylece parametrelerde kolayca değişiklik yapabilme imkanı sağlanmıştır.
- Geliştirilen modelde, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak; haritaların doğrudan kriterler olarak kullanılması yerine, klasik anlamda karar vericilerin kullandığı kriterlerin kullanılmasına ve bu kriterlerin eldeki haritalarla temsil edilmesine çalışılmıştır. Başka bir deyişle, bu çalışmada kararlara temel olan ve ağırlıklarına karar verilen unsurlar haritalar değil; kriterlerdir.
- Modelde, literatürdeki çoğu çalışmadan farklı olarak, bütün kriterler bir arada ve tek bir adımda kullanılmamış, 3 aşamada değerlendirme yapılmıştır. “3 Aşamalı Güzergâh Belirleme Modeli” olarak adlandırılan bu modelin birinci aşaması eleme aşamasıdır: Herhangi bir nedenle kullanılması istenmeyen yerler bu

aşamada elenmiştir. İkinci aşama tasarım aşamasıdır: Farklı bakış açılarına göre en uygun olan güzergâh alternatifleri bu aşamada oluşturulmuştur. Üçüncü aşama, alternatifler arasından seçim aşamasıdır: İkinci aşamada oluşturulan alternatifler arasından seçim bu aşamada yapılmıştır.

- Modelde, ikinci ve üçüncü aşamalarda kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi'nden faydalanılarak; karmaşık bir işlem olan kriterlerin karşılaştırılması/ağırlıklandırılması işlemi basitleştirilmiş, karar vericilerin sözel yargılarının da sürece katılması sağlanmıştır.
- Önerilen modelin ikinci aşamasında kriter haritaları oluşturulurken, bazı kriterler tek bir tematik haritayla temsil edilmiş, bazı kriterler ise birkaç tematik haritanın birlikte kullanılmasıyla temsil edilmişlerdir. Tek haritayla temsil edilen kriter haritalarının standardizasyonunda Boolean, sınıflı veya sürekli standardizasyonlardan uygun olanı kullanılmıştır. Birkaç tematik haritanın birlikte kullanılmasıyla temsil edilen kriterlerde, tematik haritaları birleştirebilmek için; önce kullanılacak tematik haritaların her birisini ayrı ayrı (Boolean, sınıflı ya da sürekli standardizasyonlardan en uygun olanıyla) standardize eden, daha sonra standardize edilmiş tematik haritaları birbiriyle (matematiksel veya mantıksal) işleme sokarak standardize edilmiş kriter haritasını ortaya çıkaran bir yöntem kullanılmıştır.
- Önerilen model, yapımı halen devam etmekte olan Tokat Çevre Yolu projesinin çalışma alanında test edilmiştir. Sonuçta; mevcut güzergâhtan başka 8 alternatif güzergâh daha elde edilmiştir. Bu alternatifler çeşitli açılardan değerlendirilmiş, Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak elde edilen ağırlıklara göre yapılan değerlendirme sonucunda en uygun olarak ortaya çıkan alternatif önerilmiştir.
- Modelde, KG'ler için hesaplanan maliyetler ayrı ayrı görülebildiğinden, her bir güzergâh alternatifinin farklı bakış açılarına göre uygunluğu da kolaylıkla anlaşılabilmiştir. Bu durum daha doğru şekilde değerlendirme yapılmasına imkân vermektedir. Örneğin, önerilen alternatif olan 7 numaralı güzergâh alternatifinin bütün KG'ler açısından sahip olduğu maliyetler de ayrı ayrı görülmüş; bu alternatifin EKON KG açısından en uygun üçüncü alternatif olduğu, ancak maliyetinin en uygun alternatife çok yakın olduğu, ÇEV KG açısından ise 1. sırada tercih edilen alternatif olduğu anlaşılmıştır.

- Eğer karar verici özellikle bir (veya birkaç) KG'ye özel önem veriyorsa, bu KG (veya KG'ler) açısından en uygun alternatif de model kullanılarak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Örneğin, evresel açıdan en uygun güzergâh alternatifinin hangisi olduğu rahatça anlaşılabilmektedir.
- Modelde yer verilen bazı kriterlerin bu uygulama çalışmasında bir etkisi olmadığı ya da bazı kriterlerin çok az etkisi olduğu görülmüştür; ancak başka projelerde etkili olabilecekleri düşünülerek modelde bu kriterlere yer verilmiştir. Bazı kriterler içinse gerekli görülen haritalar temin edilememiştir; bu gibi kriterler eldeki haritalardan en uygun olanlarıyla mümkün olan en iyi şekilde temsil edilmeye çalışılmıştır. Asıl gerekli görülen haritaların temin edilebilmeleri durumunda bunların da modelde kullanılmaları kolayca mümkün olacaktır.

4. ÖNERİLER

Önerilen modelin daha da ileriye götürülmesi ve olgunlaştırılması için aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir:

- IDRISI, kullanımı oldukça kolay bir CBS yazılımıdır; bu sebeple geliştirilen model de kolay uygulanabilir bir modeldir. Ancak yine de, CBS konusundaki bilgileri sınırlı olabilecek kullanıcıların da modeli kolaylıkla kullanabilmeleri için bir “arayüz” yazılımının hazırlanması faydalı olacaktır.
- Modelde, kriterlerin temsili için basit yaklaşımlar kullanılmıştır. Model kapsamında yer verilen kriterlerin her birisi ayrı bir çalışma konusu olarak ele alınarak daha gelişmiş temsil yolları bulunabilir. Özellikle hava kirliliği, gürültü, heyelan, trafik güvenliği gibi bazı kriterlerin temsili için özgün modeller geliştirilebilir. Önerilen model, bu gibi eklemeler/değişiklikler yapmaya uygundur.
- Modelin hem ikinci hem de üçüncü aşamalarında, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHY kullanılmıştır. AHY’deki ikili karşılaştırma puanları kişisel bilgi ve anlayışa göre belirlenmiştir. Bu puanların belirlenmesi için anket yoluyla uzman görüşlerinin alınmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Ahmad, N. Determining Optimal Path Using GIS, www.gisdevelopment.net, (15.04.2006).
- Akgün, A., 2007. Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Avineri, E., Prashker, J. ve Ceder, A., 2000. Transportation Projects Selection Process Using Fuzzy Sets Theory, Fuzzy Sets and Systems, 116, 35-47.
- Awwad, R., 2005. Optimal Preliminary Roadway Alignment Location: A GIS Approach, Msc. Thesis, Florida State University.
- 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.
- Bailey, K., 2003. AMIS: Development and Application of a GIS/Multicriteria Corridor Evaluation Methodology, Proceedings of the Map Asia 2003 Conference.
- Bilgiç, Ş., 2002. Türkiye’de Ulaştırma Yatırımlarının Değerlendirilmesi için Çok Ölçütlü Bir Yöntem Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Borovshaki, S. ve Malczewski, J., 2008. Implementing an Extension of the AHP Using Ordered Weighted Averaging Operators with Fuzzy Quantifiers in ArcGIS, Computers and Geosciences, 34, 299-410.
- Bronslow, S. A. ve Watson S.R., 1987. Structuring Multi Attribute Value Hierarchies, J. Opl. Res. Soc., 38, 309-317.
- Chaudhri, J., 2006. Medgaz IM Approach Predicts Cost Savings, Oil & Gas Journal, 104, 32, 57-58.
- Collischonn, W. ve Pilar, J. V., 2000. A Direction Dependent Least-Cost Path Algorithm for Roads and Canal, International Journal of Geographical Information Science, 14, 4, 397-406.
- Çelik, F., 2006. Sürdürülebilir Ulaştırma Ders Notları, KTÜ, Trabzon.
- Çelik, F., 2001. Ulaştırma-Toplumsal Kalkınma İlişkisi ve Türkiye’nin Ulaştırma Politikaları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi III Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, Ankara.

- 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.
- Çınar, H., 2002. Avrupa Birliği ve Türkiye’de Çevresel Etki Değerlendirmesi, Y. Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Dane, G. Z. ve Tecim V., 2007. GIS Based Route Determination For Light Rail Systems: A Case Study in Izmir, Turkey, ERSA'07 - 47th Congress of the European Regional Science Association, FRANSA.
- Danışman, E., 2001. Türkiye’de Kara Ulaşımı Politikası ve Ekolojik Dengeye Etkileri, Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Djenaliev, A., 2007. Multicriteria Decision Making and GIS for Railroad Planning in Kyrgyzstan, Msc. Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden.
- Dünya Bankası, 1994. Karayolları ve Çevre: El Kitabı, Yollar Türk Milli Komitesi Yayınları, 2. Baskı, (Çev:Tuğba Kiper).
- Eastman, J.R., 1989. Pushbroom Algorithms for Calculating Distances in Raster Grids, AUTOCARTO 9, Proceedings Book, 288-297.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K., Toledano, J. ve Jin, W., 1993. GIS and Decision Making, UNITAR (United Nations Institute for Training and Research), Geneva.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P. A. K. ve Toledano, J., 1995. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 5, 539-547
- Eastman, J.R. ve Jiang, H., 1996. Fuzzy Measures in Multi-criteria Evaluation, Second International Symposium on Natural Resources and Environmental Studies, May 21-23, Fort Collins, Colorado, Proceedings Book, 527-534.
- Eastman, J.R., 2003. IDRISI Kilimanjaro - Guide to GIS and Image Processing, Clarklabs, Graduate School of Geography at Clark University, Worcester, USA.
- EURET, 1996. Evaluation, Office for Official Publications of the European Communities, Brüksel, Belçika.
- Feldman, S.C., Pelletier, R.E., Walser, E., Smoot, J.C. ve Ahl, D., 1995. A Prototype For Pipeline Routing Using Remotely Sensed Data And Geographic Information System Analysis, Remote Sensing of Environment, 53, 2, 123-131.
- Forman, E.H., 1990. MCDM and AHP, Readings in Multiple Criteria Decision Aid, 295-318, Ed. Bana E Costa, C.A., Springer-Verlag, Heidelberg.
- Gewin, V., 2004. Mapping opportunities, Nature International Weekly Journal of Science, 427, 376-377.

- Gustavsson, T., Bogren, J. ve Eriksson, M., 1998. GIS as a Tool for Planning New Road Stretches in Respect of Climatological Factors, *Theoretical and Applied Climatology*, 60, 179-190.
- Hakbilir, M., 2004. Implementing the Dijkstra's Algorithm with Priority Queue to the Path Finding Problem in Raster GIS, Msc Thesis, Geodesy and Geographic Information Technologies, METU, Ankara.
- Harker, P.T. ve Vargas, L.G., 1987. The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process, *Management Science*, 33, 11, 1383-1403.
- Hong, I.B. ve Vogel, D.R., 1991. Data and Model Management in a Generalized MCDM-DSs, *Decision Sciences*, 22, 1-25.
- 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.
- Huizingh, E. K. R. E. ve Vrolijk, H. C. J., 1997. Extending the Applicability of the Analytic Hierarchy Process, *Socio-Economic Planning Science*, 31, 1, 29-39.
- 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.
- Hwang, C.L. ve Masud, A.S.M. (1981) Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, New York, Springer Verlag.
- Jankowski, P. ve Richard, L., 1994. Integration of GIS-based Suitability Analysis and Multicriteria Evaluation in a Spatial Decision Support System for Route Selection, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21, 323-340.
- Jha, M. K., 2000. A Geographic Information Systems Based Model for Highway Design Optimization, Phd. Thesis, Maryland, USA.
- Jiang, H., ve Eastman, J.R., 2000. Application of Fuzzy Measures in Multi-criteria Evaluation in GIS, *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 2, 173-184.
- Kaya, Z. G., 2006. Developing A GIS Based Methodology For Decision Making For Multiobjective Recreational Areas-Case Study Eastern Black Sea Region, Msc. Thesis, Department of Geodetic and Geographic Information Technologies, METU.

- KGM, 2009. Karayolu Planlaması Bilgileri El Kitabı, KGM Stratejik Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Kiper, T., 2002. Karayolu Projesi Temel Bilgileri, YTMK Yayın No: 23, 23-186.
- Kirkwood, C.W., 1997. Strategic Decision Making: Multiobjective Decision Analysis with Spreadsheets, Belmont, CA: Duxbury Press.
- Koçak, E., 1985. Kartoğrafya, K.T.Ü. Yayınları, 123-124, Trabzon.
- Lee, J. ve Stucky, D., 1998. On Applying Viewshed Analysis for Determining Least-Cost Paths on Dijital Elevation Models, International Journal of Geographical Information Science, 12, 8, 891-905.
- Li, X., Wang, W., Li, F. ve Deng, X., 1999. GIS Based Map Overlay Method for Comprehensive Assessment of Road Environmental Impacts, Transportation Research Part D, 4, 147-158.
- Lowry, J. H. Jr., Miller, H. J. ve Hepner, G. F., 1995. A GIS-Based Sensitivity Analysis of Community Vulnerability to Hazardous Contaminations on the Mexico/U.S. Border, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 11, 1347-1359.
- Malczewski, J. ve Ogryczak, W., 1995. The Multiple Criteria Location Problem: A Generalized Network Model and the Set of Efficient Solutions, Environment and Planning A, 27, 1931-1960.
- Malczewski, J., 1997. Multicriteria Group Decision Making Model for Environmental Conflict Analysis in the Cape Region, Mexico, Journal of Environmental Planning and Management, 40, 3, 349-374.
- Malczewski, J., 1999. GIS and Multiple-Criteria Decision Analysis. New York: John Wiley and Sons.
- Malczewski, J., 2006. GIS Based Multicriteria Decision Analysis; A Survey of the Literature, International Journal of GIS, 20, 7, 703-726.
- Mantuş, M., 2003. Karayolu Güzergah Tespit Çalışması Yaparken Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Metot Olarak Faydalanma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Miller, G. A., 1956. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information, Psychological Review, 63, 2, 343-355.
- Minch, R.P. ve Sanders, G.L., 1986. Computerized Information Systems Supporting Multicriteria Decision Making, Decision Sciences, 1, 7, 395-413.
- Moghaddam, H. K. ve Delavar, M. R., 2007. A GIS Based Pipelining Using Fuzzy Logic and Statistical Models, Int. J. of Comp. Science and Network Security, 17, 2.

- Musa, M.K.A. ve Mohamed A.N., 2002. Alignment and Locating Forest Road Network by Best- Path Modeling Method, Asian Journal of Geoinformatics, Forestry Section.
- Neaupane, K.M. ve Piantanakulchai, M., 2006. Analytic Network Process Model For Landslide Hazard Zonation, *Engineering Geology*, 85, 281–294.
- Orhan, A., H. ve Yilmazer, İ., 2006. Alignment Selection Criteria for Pipelines Essential, Pipeline and Gas Journal, 233, 5, 43-44.
- Özkan (Erdal), N., 2000. Refinement of Benefit-Cost Analysis Results for Highway Projects, Msc. Thesis, METU, Ankara.
- Öztürk, T., 2007. Finding The Optimum Route For Transmission Lines Within GIS, Phd. Thesis., METU- Geodetic And Geographic Information Technologies, Ankara.
- Piantanakulchai, M., 2005. Analytic Network Process Model For Highway Corridor Planning, ISAHF 2005, Honolulu, Hawaii, Proceedings Book.
- Reason, J., 1990. Human Error. Ashgate.
- 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.
- Resmi Gazete, 2003. Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Başbakanlık Basımevi, 25318.
- Rietveld, P., 1980. Multiple Objective Decision Methods and Regional Planning, North-Holland Publication Company, Amsterdam.
- Ryan, K., P., 2001. A Versatile Route Selection Process, Pipeline 2001: Advances in Pipelines Engineering and Construction, Conference Proceeding Paper.
- Saaty, T.L., 1989. Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburg.
- Saaty, T.L., 1996. Decision Making for Leaders, RWS Publications, Pittsburg.
- Sadek, S., Bedran, M. ve Kaysi, I., 1999. GIS Platform for Multicriteria Evaluation of Route Alignments, Journal of Transportation Engineering, 125, 2.
- 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.
- Schmucker, K.J., 1982. Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis, Computer Science Press.

- Serel, H., 1993. Kalkınma Çevre İlişkisi ve Sürdürülebilir Kalkınma Modeli (Türkiye Açısından Bir Değerlendirme), Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Shang, J.S., Tjader, Y. ve Ding, Y., 2004. A Unified Framework for Multicriteria Evaluation of Transportation Projects, IEEE Transactions on Engineering Management, 51, 300-313.
- Tunca A., 2003. Defining Priority Areas for Nature Conservation Studies using GIS-A Case Study: Kaçkar Mountains, Msc Thesis, The Department of Geodetic and Geographic Information Technologies, METU, Ankara.
- Tümay, A., 2001. Güvenli Karayolu Ulaşımı İçin CBS Tabanlı Karayolu Güzergah Tespit Metodu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, http://tdkterim.gov.tr/bts_05.05.2011.
- URL-2, <http://www.kgm.gov.tr>, 10/06/2008.
- URL-3, <http://www.cookbook.hlurb.gov.ph/book/export/html/6>. 11 Ocak 2011.
- URL-4, <http://www.clarklabs.org>. 27 Temmuz 2009.
- URL-5, <http://www.enfal.de/sosyalbilimler/m/006.htm>. 11 Mayıs 2007.
- URL-6, <http://www.yesilirmak.org.tr>. 25 Aralık 2009.
- WCED, 1987. Our Common Future, Oxford University Press, New York.
- Yakar, F., 2005. Sürdürülebilir Kalkınma ve Karadeniz Bölünmüş Sahil Yolu'nun Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yalçın G., 2002. Analysing Flood Vulnerable Areas with Multicriteria Evaluation, Msc Thesis, The Department of Geodetic and Geographic Information Technologies, METU, Ankara.
- Yayla, N., 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Yıldırım, V., 2009. Doğalgaz İletim Hatlarının Belirlenmesi için CBS ile Raster Tabanlı Dinamik Bir Modelin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul, 479 s.
- 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.

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.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.

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.

Zura, M. ve Lipar, P., 1995. The Road and Traffic Environmental Impact Assessment and Optimal Road Layout Selection, Proceedings of the 15th Annual Environmental Systems Research Institute (ESRI) User Conference, Environmental Systems Research Institute, Redlands, California.

6. EKLER

Ek 1. Tokat Çevre Yolu Projesi hakkında çıkan bazı gazete haberleri

Çevre yolu projesinde değişiklik

Tokat Çevre Yolu'nun kamulaştırmasında gayrimenkul sahipleri ile uzlaşmaya gidilememesi nedeniyle projede değişikliğe gidildi.

Turhal Karayolu Organize Sanayi Bölgesi'nden geçerek Derbent Boğazı, Erenler Mezarlığı bölgesi ve Büyükbeybağı Mahallesi'nden Sivas kara yoluna bağlanacak olan 7.2 kilometrelik çevre yolu için gayrimenkul sahipleri ile yapılan pazarlık görüşmesinde anlaşmaya varılamamıştı. Yapılan değerlendirmeler sonucu alternatif yol arayışına gidildi. Çevre Yolu'nun Saklıbahçe yakınlarından Sivas Caddesi'ne inen bölümdeki yapılan değişiklikle yol yaklaşık 1 kilometre kaydırılarak şehir içi minibüslerin bulunduğu Geyraz Mahallesi'nden Sivas Caddesi'ne bağlanmasına karar verildi. Tokat Çevre Yolu güzergahında yapılan değişikliğin imar planına işlenmesi konusu ise belediye meclis toplantısında görüşülerek kabul edildi. Yeni proje ile birlikte kentin girişindeki birçok yeşil alan kurtulurken, yolun hazine arazisinden geçecek olması dolayısıyla maliyetin azalacağı belirtildi.

İHA - Yayın Tarihi : 08 Ocak 2010 Cuma 16:52:05

Ek 1.'in devamı

Kamulaştırma pazarlığı sonuçsuz

Tokat'ta, Çevre Yolu Projesi kapsamından yapılan pazarlık görüşmelerinde gayrimenkul sahiplerinin birçoğu kamulaştırma bedellerini kabul etmeyerek itirazda bulundu.

Tokat-Turhal Karayolu Sigara Fabrikası yanında yaklaşık 2 yıl önce başlayan Çevre Yolu çalışmalarında yüzde 15'lik ilerleme sağlandı.

Organize Sanayi içerisinde geçerek Derbent Boğazı, Erenler Mezarlığı bölgesi ve Büyükbeybağı Mahallesi'nden geçerek Sivas yoluna bağlanacak olan 7.2 kilometrelik çevre yolu için gayrimenkul sahipleri ile Karayolları Tokat Şube Şefliği'nde pazarlık görüşmesi yapıldı. Pazarlık görüşmesine katılan gayrimenkul sahiplerinin büyük bir kısmı, dönüşüne 50 ile 75 bin TL arasında verilen fiyatları yeterli bulamayarak uzlaşamadı. Bazı gayrimenkul sahipleri ise meyve bahçesi ve yeşil alanların içerisinde geçen çevre yolu projesine tepki gösterdi. Gayrimenkul sahiplerinden Ali Fermanlı, verilen fiyatları yeterli bulmadıklarını söyledi.

Fermanlı ayrıca Çevre Yolu Projesi'nin yanlış olduğunu savunarak, "Çevre yolu meyve bahçeleri yeşil alan içerisinde geçer mi? Mahalle içinden çevre yolu geçtiği nerede görülmüş. Buralar en fazla iki yıl sonra şehirle birleşecek. Projeyi hazırlayanların vicdan muhasebesi yapması gerekir. Kızılören'den çıkması planlanan diğer bir proje vardı. Sanırım birileri devreye girdi, güzergah değişti. O güzergah olsa idi bu kadar devlet masrafa girmezdi. İstimlak bedelleri milyon TL'lerle ifade ediliyor. Devleti bu kadar zarara uğratmanın manası var mı? Kim yaptı, niye yaptı, nasıl yaptı? Allah ondan sorsun. Hem Tokat'ın yeşil bağ ve bahçeleri yola gidiyor hem de şehrin içerisinde çevre yolu geçiyor. Yapılanlar başından beri yanlış" dedi.

Gayrimenkul sahiplerinden Bülent İçmez de çevre yolunun yeşil alanları yok edeceğini belirterek, "Eski proje uygulanabilirdi. Bu istimlak paraları gündeme gelmez, devletin de karı olurdu. Yeşil alanların içinden ağaçlar kesilerek yapılacak bu projeyi uygun görmüyoruz" diye konuştu.

İHA- Yayın Tarihi : 07 Ekim 2009 Çarşamba 10:14:02

Ek 1.'in devamı

Alp Gazi'nin mezarı nakledildi

Tokat çevre yolu çalışmaları kapsamında Alp Gazi Hazretlerinin mezarı ve diğer mezarların çevre yolu çalışmalarından dolayı yeni yerlerine nakledildi.

Tokat'ta, çevre yolunun geçeceği güzergah üzerinde bulunan bir çok mezarın yerinin değiştirilmesi çalışmaları devam ediyor. Bu çalışmalar kapsamında Selçuklu Alperenlerinden Melik Gazi'nin kardeşi Alp Gazi Hazretleri'nin mezarı da çevre yoluna denk gelmesi nedeni ile başka bir bölgeye taşındı.

Defin işlemlerine katılan Tokat Belediye Başkanı Adnan Çiçek, Alp Gazi Hazretlerinin mezarı bulunduğu yerden yaklaşık 150 metre daha yukarı taşındığını söyledi. Yeni belirlenen mezarlık bölgesinde çalışmaların sürdüğünü ifade eden Başkan Çiçek, “Bu bölgede çevre yoluna gelen bütün mezarlıklarımız birkaç gün içerisinde belirlemiş olduğumuz bölgelere nakledilmiş olacak. Türklerin Malazgirt savaşı öncesinde birçok Alperen İslam'ın Anadolu coğrafyasına yayılmasını sağlamak amacıyla Anadolu'ya gelen ilk Müslümanlardır, ilk Türklerdir. Anadolu'nun İslamlaşmasında çok büyük emekleri geçmiştir. Bunlardan bir tanesi de Alp Gazi'dir. Kendisinin Melik Gazi ve Hüseyin Gazi'nin kardeşi olduğu ifade edilmektedir. Aynı zamanda Battal Gazi'nin de çocukları ya da torunları olduğu ifade edilmektedir. Anadolu'da birçok yerde Alp Gazi, Battal Gazi, Hüseyin Gazi, Melik Gazi gibi birçok bölgede mezarları olduğu sanılmaktadır. Arkadaşlarımız bugün burada çevreyolu güzergâhına gelen mezarların nakil işlemlerini gerçekleştirirken Merhum Alp Gazi Hazretlerinin de kabrini naklettiler. Şuanda çevre yolu çalışmalarının Büyükbeybağı Mahallesi'ne kadar ulaşmasından dolayı memnuniyetimi ifade etmek istiyorum” dedi.

Başkan Çiçek, arazideki çalışmalara bakıldığında çevre yolu çalışmalarının kazı ve dolgu çalışmaları, buna bağlı olarak sanat yapıları çalışmaları nedeniyle bir daha uzun süreceğini ifade ederek, “Çevre yolunun 2010 yılı içerisinde sıcak asfalt olarak bitmeyeceği görünüyor. Her işin bir sonu olduğu gibi buradaki çalışmaların da bir sonu olacaktır. Birkaç aylık gecikmenin çok önemsenmemesi gerektiği kanaatindeyim” diye konuştu.

İHA - Yayın Tarihi : 27 Ağustos 2010 Cuma 17:54:03

Ek 1.'in devamı**Dağ engeli kaldırılıyor**

Tokat Çevre Yolu'nun önündeki dağ engeli kaldırılmaya çalışılıyor.

Tokat-Turhal karayolu eski Sigara Fabrikası yanında yaklaşık 2 yıl önce başlayan çevre yolu çalışmaları yeniden ivme kazandı.

Organize Sanayi Bölgesi içerisinden geçerek Derbent Boğazı, Erenler Mezarlığı bölgesi ve Büyükbeybağı Mahallesi'nden Sivas yoluna bağlanacak olan çevre yolu çalışmalarında en büyük engellerden biri olan dağ sorunu aşılmaya çalışılıyor.

Çevre yolunun geçeceği güzergah üzerinde bulunan derbent boğazındaki dağın bir kısmının kaldırılması için hummalı bir çalışma yapılıyor. Önlemler alınarak zaman zaman dinamitle patlama yapılmak suretiyle çalışmaların uzun bir süre daha devam etmesi bekleniyor.



İHA - Yayın Tarihi : 25 Şubat 2010 Perşembe 15:38:01

Ek 2. Çalışmada kullanılan haritaların kaynakları ve dönüşüm işlemleri

Verinin Alındığı Kurum	Verinin Orijinal Adı	Verinin Kullanılan Adı	Uygulanan Dönüşüm İşlemleri
Yeşilırmak Havza Gelişim Projesi (YHGP)	Anayollar.shp	Anayollar.rst	(.shp) → SHAPEIDR → (.vct) → RASTERVECTOR →(.rst)
	Arayollar.shp	Arayollar.rst	
	Beldeler.shp	Beldeler ve koyler.rst	
	Koyler.shp		
	İklim.shp	İklim.rst	
	Yagıs.shp	Yagıs.rst	
	İrmaklar.shp	Kanallar ve İrmaklar.rst	
	Kanallar.shp		
	Sular.shp	Sular.rst	
	Toprak.shp	Tarım alanlari.rst	
	Yukseklık.shp	DEM.rst	TINSURF
	DEM.rst	Egim.rst	SURFACE
		Baki.rst	
	Egim.rst	Topografya.rst	PATTERN, RECLASS
Tokat Belediyesi	Tokat imar.ncz	Agaclandirilacak alan.rst	(.ncz) → NETCAD → (.dxf) → AUTOCAD → (.dxf) → DXFIDR → (.vct) → RASTERVECTOR → (.rst)
		Askeri tesisler.rst	
		Dini tesisler.rst	
		Egitim tesisleri.rst	
		Konut alanlari.rst	
		Orman alanlari.rst	
		Resmi alanlar.rst	
		Saglik alanlari.rst	
		Sanayi alanlari.rst	
		Sit alanlari.rst	
		Terminaller.rst	
		Ticaret alanlari.rst	
		Turistik alanlar.rst	
		Park-oyun-sosyal-spor-Pazar-bha.rst	
	Tokat jeoloji.ncz	Jeoloji.rst	(.ncz) → NETCAD → (.dxf) → DXFIDR → (.vct) → RASTERVECTOR → (.rst)
	Tokat çevre yolu.ncz	TÇY.rst	RASTERVECTOR → (.rst)

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Tokat'ın Turhal ilçesinde doğdu. Tokat Anadolu Lisesi, Bursa Fen Lisesi ve Turhal Lisesi'nde orta öğrenimini tamamladıktan sonra 1995 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 1999 yılında mezun olup özel sektörde 1 yıl çalıştı ve askerlik görevini de yaptıktan sonra 2002 yılında Gazi Osman Paşa Üniversitesi Tokat Meslek Yüksek Okulu'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılı Ocak ayında 35. Madde gereğince yüksek lisans yapmak üzere kadrosu YÖK tarafından Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne aktarıldı. KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimini Eylül 2005'te tamamlayarak “Yüksek Mühendis” ünvanını aldıktan sonra doktora öğrenimine başladı. Halen KTÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.