



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAYOLU GÜZERGÂH TESPİTİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet ŞEN

YÜKSEK LİSANS

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARAYOLU GÜZERGÂH TESPİTİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet ŞEN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih SARI

2018, 95 Sayfa

Jüri

Prof.Dr.Hakan KARABÖRK
Yrd. Doç. Dr. Fatih SARI
Yrd.Doç.Dr.H.Zahit SELVİ

Karayolları şehirleri, bölgeleri ve insanları birbirine bağlayan, ekonomik, sosyal ve çevresel anlamda şehirlerin ana yapıları haline gelmişlerdir. Karayolu yapımı ve planlaması, gereksinimlere etkin çözümler bulması için ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan değerlendirilmesi gerektiğinden oldukça karmaşık ve zor bir süreçtir. Bu nedenle karayolu güzergâhı planlanırken öncelikler, beklentiler, sınırlamalar ve gereksinimler ekonomik ve çevresel perspektifte detaylı olarak ele alınmalıdır. Tüm bunlara ek olarak, karayolu yapımı dolayısıyla zarar görecek ormanlar, verimli tarım arazileri ve habitatın korunması ve onlara gelecek zararların önlenmesi amacı ile çevresel faktörler öncelikli olarak ele alınmalıdır. Bu gereksinimlerin hayata geçirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), En Az Maliyetli Rota Tayini (EAMR) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu önemli çözümler sunmaktadır.

Bu çalışmada en uygun karayolu güzergâhı oluşturmak için jeoloji, yükseklik, karayollarına uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, nüfus ve arazi kullanımı kriterleri ele alınmıştır. Bu kriterlerin ağırlıklandırılması AHY yöntemi ile yapılırken, güzergâhların oluşturulması EAMR algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin hazırlanması, analizler için altlıkların oluşturulması, analizlerin yapılması ve sonuç ürünlerin görselleştirilmesi ise CBS yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 3 farklı bölgede çevresel, ekonomik ve hibrid odaklı 3 farklı güzergâh oluşturulmuştur. Sonuç olarak hibrid odaklı güzergâhların araziye ve yol yapısına daha uygun sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çok Ölçütlü Karar Analizleri, Karar Destek Sistemleri, Güzergâh Planlama, Analitik Hiyerarşi Yöntemi

ABSTRACT

MS THESIS

A RESEARCH ON APPLICABILITY OF MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS FOR HIGHWAY ROUTE DESIGN

Mehmet ŞEN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATIC ENGINEERING

Advisor: Assist. Prof. Dr. Fatih SARI

2018, 95 Pages

Jury

Prof.Dr. Hakan KARABÖRK
Assist.Prof. Dr. Fatih SARI
Assist.Prof. Dr. H. Zahit SELVİ

Highways are one of the main structures of cities in the field of economic, social and environment facilities that connect cities, regions and people each other. Due to the construction costs, determining the suitable highway routes is a difficult and complex process because it must consider economic, social and environmental parameters to provide efficient solutions to requirements. Thus, priorities, expectations and constraints for environmental, social and economic parameters must be considered when developing highway projects. Addition to this, environmental priorities must be considered to prevent damages to forests, agricultural lands and habitat zones. Analytical Hierarchy Process (AHP) and Least Cost Path Algorithm (LCPA) with Geographical Information Systems (GIS) combination provide important solutions.

In this study, several criteria are defined to determine most suitable highway construction areas and paths such as slope, geology, elevation, distance to highways, distance to settlements, population and land use with considering the highway construction requirements. The criteria are weighted with the aid of AHP, least cost paths are determined with LCPA and the results are illustrated and associated with existing topological and geographical conditions via GIS functions. As a result, 3 new highway routes are suggested in different 3 regions with economic, environmental and hibrid approaches. Finally, hibrid oriented routes are suitable both for land and highway constructions.

Keywords: Geographical Information Systems, Multi Criteria Decision Analysis, Decision-Support Systems, Route Planning, Analytical Hierarchy Process

ÖNSÖZ

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte mühendislik çalışmalarında karar destek mekanizmalarında kullanılan veriler ile buna bağlı olarak geliştirilen uygulamaların önemi ve etkisi giderek daha da artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, mühendislik uygulamalarında disiplinler arası ortak veri kullanımı ve karar destek mekanizmalarında hızlı ve doğru kararı vermek adına veri sınıflandırmaları ve derecelendirmeleri yapılarak optimum çözümün bulunmasını sağlamaktır.

Yüksek lisans sürecimde değerli katkılarını ve desteklerini benden esirgemeyen Harita Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Hakan KARABÖRK'e, gösterdiği sabır ve özveri ile hiçbir zaman desteğini ve engin bilgilerini benden eksik etmeyen, çalışmalarımın her aşamasında önerileri ile beni yönlendiren değerli hocam ve sayın danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih SARI'ya, önerilerini ve bilgilerini benimle paylaşan değerli meslektaşım ve kıymetli eşim Harita Mühendisi Mücahide ŞEN'e ve son olarak bugüne kadar her daim yanımda olan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Mehmet ŞEN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **x**

ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **8**

3.1. Çok Ölçütlü Karar Analizleri 8
3.1.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi 9
3.1.2. En Az Maliyetli Rota Algoritması 13
3.2. Çalışma Alanı Tanıtımı 18
3.3. Kriter Seçimi ve Kullanılan Veriler 19
3.3.1. Yerleşim yerlerine uzaklık 20
3.3.2. Arazi kullanımı 21
3.3.3. Jeoloji 23
3.3.4. Eğim 24
3.3.5. Mevcut karayollarına uzaklık 25
3.3.6. Yükseklik 26
3.3.7. Nüfus 27

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE UYGULAMA **29**

4.1. Kriterlerin Sınıflandırılması 29
4.2. AHY Kullanılarak En Uygun Karayolu Yapım Yerlerinin Belirlenmesi 31
4.2.1. AHY ile Ağırlıkların Hesaplanması 31
4.2.2. Uygunluk Haritasının Üretilmesi 42
4.3. EAMR ile En Uygun Güzergâhların Belirlenmesi 44
4.3.1. Maliyet Yüzeylerinin Hesaplanması 44
4.3.2. EAMR Yönlendirme Yüzeyinin Oluşturulması 47
4.3.3. EAMR Güzergâhlarının Oluşturulması 52
4.3.3.1. 1.Bölge Güzergâh İncelemesi 53
4.3.3.2. 2.Bölge Güzergâh İncelemesi 60

4.3.3.3. 3.Bölge Güzergâh İncelemesi 67

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 73

5.1 Sonuçlar 73
5.2 Öneriler 74

KAYNAKLAR 77

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Dikey ve yatay hücre hesaplamaları 14
Şekil 3.2. Gruplandırılmış maliyet hesaplaması 15
Şekil 3.3. Çapraz yönlendirme formülü 15
Şekil 3.4. Çıkış ve maliyet raster verilerinde hücrelerin ayarlanması 16
Şekil 3.5. İlk işlem başlangıcı 16
Şekil 3.6. İkinci iterasyon ile komşu piksellerin bulunması 17
Şekil 3.7. Üçüncü iterasyon ile komşu piksellerin bulunması 17
Şekil 3.8. Hedef hücreye ulaşmadaki son işlem adımı 17
Şekil 3.9. Yönlendirme raster verisindeki piksel değerleri 18
Şekil 3.10. Çalışma alanı 19
Şekil 3.11. Çalışma alanı yerleşim noktaları 20
Şekil 3.12. Yerleşime uzaklık haritası 21
Şekil 3.13. Arazi kullanımı kriter haritası 22
Şekil 3.14. Jeoloji kriter haritası 23
Şekil 3.15. Eğim kriter haritası 25
Şekil 3.16. Mevcut karayollarına uzaklık kriter haritası 26
Şekil 3.18. Nüfus dağılım kriter haritası 28
Şekil 4.1. Reclassify menüsü 29
Şekil 4.2. Yeniden sınıflandırılmış kriter haritaları 30
Şekil 4.3. Kurulan hiyerarşinin adımları 31
Şekil 4.4. Oluşturulan karayolu uygunluk haritası 43
Şekil 4.5. Hibrid maliyet yüzeyi 45
Şekil 4.6. Ekonomik maliyet yüzeyi 46
Şekil 4.7. Çevresel maliyet yüzeyi 47
Şekil 4.8. Güzergahların başlangıç ve bitiş noktaları 48
Şekil 4.9. Yönlendirme verisi oluşturma menüsü 48
Şekil 4.10. Güzergah 1 yönlendirme yüzeyleri 49
Şekil 4.11. Güzergâh 2 yönlendirme yüzeyleri 50
Şekil 4.12. Güzergâh 3 yönlendirme yüzeyleri 51
Şekil 4.13. EAMR algoritmasının çalıştırıldığı menü 52
Şekil 4.14. 1. Bölge EAMR güzergâhları 53
Şekil 4.15. 1. Bölge güzergâhların arazi kullanımı ile kesişimi 54
Şekil 4.16. 1. Bölge güzergâhların kapsadıkları arazi yüzeyi 55
Şekil 4.17. 1. Bölge güzergâhların jeoloji ile kesişimi 56
Şekil 4.18. 1. Bölge güzergâhların yükseklik ile kesişimi 57
Şekil 4.19. Güzergahların profil çizimleri 58
Şekil 4.20. Güzergâhların uzunluk karşılaştırması 58
Şekil 4.21. Güzergâhların nüfus karşılaştırması 59
Şekil 4.22. Güzergâhların ortalama eğim karşılaştırması 59
Şekil 4.23. Güzergâhların ortalama kot karşılaştırmaları 60
Şekil 4.24. 2. Bölge EAMR güzergâhları 61
Şekil 4.25. 2. Bölge güzergâhların arazi kullanımı ile kesişimi 62
Şekil 4.26. 2. Bölge güzergâhların kapsadıkları arazi yüzeyi 62
Şekil 4.27. 2. Bölge güzergâhların jeoloji ile kesişimi 63
Şekil 4.28. 2. Bölge güzergâhların yükseklik ile kesişimi 64
Şekil 4.29. Güzergahların profil çizimleri 64
Şekil 4.30. Güzergâhların uzunluk karşılaştırması 65

Şekil 4.31. Güzergâhların nüfus karşılaştırması 65
Şekil 4.32. Güzergâhların ortalama eğim karşılaştırması 66
Şekil 4.33. Güzergâhların ortalama kot karşılaştırmaları 66
Şekil 4.34. 3. Bölge EAMR güzergâhları 67
Şekil 4.35. 3. Bölge güzergâhların arazi kullanımı ile kesişimi 68
Şekil 4.36. 3. Bölge güzergâhların kapsadıkları arazi yüzeyi 68
Şekil 4.37. 3. Bölge güzergâhların jeoloji ile kesişimi 69
Şekil 4.38. 3. Bölge güzergâhların yükseklik ile kesişimi 70
Şekil 4.39. Güzergahların profil çizimleri 70
Şekil 4.40. Güzergâhların uzunluk karşılaştırması 71
Şekil 4.41. Güzergâhların nüfus karşılaştırması 71
Şekil 4.42. Güzergâhların ortalama eğim karşılaştırması 72
Şekil 4.43. Güzergâhların ortalama kot karşılaştırmaları 72

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Saaty (1980) önem dereceleri skalası 10
Çizelge 3.2. Random indeks değerleri 12
Çizelge 3.3. Kullanılan verilerin elde edildiği kurumlar ve ölçekleri 20
Çizelge 3.4. Yerleşim yerlerine uzaklık değerleri sınıflandırılması 21
Çizelge 3.5. Arazi kullanımı veri değerlerinin sınıflandırılması 23
Çizelge 3.6. Jeoloji verisi değerleri sınıflandırılması 24
Çizelge 3.7. Eğim verisi değerleri sınıflandırılması 25
Çizelge 3.8. Karayollarına uzaklık verisi değerleri sınıflandırılması 26
Çizelge 3.9. Yükseklik verisi değerleri sınıflandırılması 27
Çizelge 3.10. Nüfus verisi değerlerinin sınıflandırılması 28
Çizelge 4.1. Birinci seviye hiyerarşi ağırlık hesaplaması 32
Çizelge 4.2. Ekonomik kriterler karşılaştırma matrisi 33
Çizelge 4.3. Birinci seviye hiyerarşi ağırlık hesaplaması 33
Çizelge 4.4. Öz değer matrisi 33
Çizelge 4.5. Ağırlıklar ile çarpılmış öz değer matrisi 33
Çizelge 4.6. Çevresel kriterler karşılaştırma matrisi 34
Çizelge 4.7. Birinci seviye hiyerarşi ağırlık hesaplaması 34
Çizelge 4.8. Öz değer matrisi 35
Çizelge 4.9 Ağırlıklar ile çarpılmış öz değer matrisi 35
Çizelge 4.10. Eğim sınıflandırması karşılaştırma matrisi 36
Çizelge 4.11. Yükseklik sınıflandırması karşılaştırma matrisi 37
Çizelge 4.12. Jeoloji sınıflandırması karşılaştırma matrisi 37
Çizelge 4.13. Ekonomik kriter ağırlık hesaplamaları 38
Çizelge 4.14. Arazi kullanımı sınıflandırması karşılaştırma matrisi 39
Çizelge 4.15. Nüfus sınıflandırması karşılaştırma matrisi 39
Çizelge 4.16. Yerleşime yerlerine uzaklık sınıflandırması karşılaştırma matrisi 40
Çizelge 4.17. Karayollarına uzaklık sınıflandırması karşılaştırma matrisi 40
Çizelge 4.18. Çevresel kriterler ağırlık hesaplaması 41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AHY : Analitik Hiyerarşi Yöntemi
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI : Consistency Index
CR : Consistency Ratio
ÇÖKA: Çok Ölçütlü Karar Analizleri
EAMR: En Az Maliyetli Rota
GIS : Geographical Information Systems
LCPA : Least Cost Path Algorithm
RI : Random Index
TOPSIS : The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik göstergelerinde kuşkusuz en önemli katkılardan birini karayolları sağlamaktadır. Karayollarının büyük şehirlerdeki ekonomik ve sosyal statü üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Tanga ve Waters, 2005). Tarım, endüstri ve sanayii gibi faktörlerdeki işleyiş için karayollarının etkisi göz önüne alındığında yaşamsal fonksiyonların devam etmesi için hayati öneme sahiptir (Banister, 2002). Bu noktada ekonomik katkıyı, sosyal gelişmeyi ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek amacı ile karayollarının planlanması ve analiz edilmesi gereklilikler arasında bulunmaktadır (Black, 2003). Karayollarının büyük oranda olumlu katkılarının yanı sıra olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Karayollarının olumsuz yönleri ile hem yapılmadan önce hem de yapıldıktan sonra karşılaşılmaktadır. Karayolu yapım aşamasında çevreye verilen zararlar ilk karşılaşılan problemlerdendir. Zarar gören ormanlar, tarımsal araziler ve doğal bitki alanları gözle görülen etkilerdendir. Tüm bunlara ek olarak gözle görülmeyen ancak çevreye verilen bu zararın getirisi olan ekosistemin değişikliği ile karşılaşılmaktadır. Zarar gören bölgelerde yaşayan hayvan türlerinin azalması veya bölgeyi terk etmesi, yönü değişen veya farklılaştırılan akarsuların yıllar sonra bölgedeki ekosistemde yaratacağı değişiklikler, karayollarının gözle görünmeyen etkilerindendir. Yapım sonrası etkiler incelendiğinde, araç emisyonları kaynaklı hava kirliliği ve gürültü kirliliği gibi etkilere ortaya çıkmaktadır (Mader, 1984; Cavallin ve ark., 1994; Saunders ve ark., 2002; Lambertucci ve ark., 2009; Ulengin ve ark., 2010). Özellikle çok yoğun trafiğe sahip karayollarına yakın bölgelerde yaşayan insanlar bu durumdan oldukça etkilenmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki, karayolu kaynaklı yararlar ve zararlar karayolu proje aşamasında öngörülerek modellenebilmektedir. Her geçen gün artan trafik yoğunluğu ve karayollarının kullanan araç ve insan sayısındaki artış, ülkelerin vazgeçilmez bir fonksiyonu olan karayolları projelerinin daha az çevre odaklı olmasına neden olmaktadır.

Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü, Etüt Proje ve Çevre Dairesi Başkanlığı, 2014 Karayolları Kesin ve Ön Projeleri Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi incelendiğinde, güzergâh analizi için aşağıdaki maddeler sıralanmaktadır.

Güzergâh çalışmalarında;

- Geometrik standartları,
- Toprak işleri, (Kübaj, brükner)
- Tünel, köprü, viyadük, sanat yapıları, tarımsal alt ve üst geçitler,
- Yol drenajı,
- Tali yol, kavşak yerleri ve park alanları,
- Yol peyzaj, estetiği ve ÇED ile ilişkileri,
- Arazi kullanımı, kamulaştırma, mülkiyet durumları ve imar planları ile uyumu,
- Bakım ve işletim şartları,
- Trafik güvenliği,
- Yolun geleceğe yönelik planlaması,
- Yapım maliyetleri ve işletim giderleri
- Geoteknik önlem gereksinimleri

göz önünde bulundurulmalıdır.

Sıralanan özellikler incelendiğinde ağırlıklı olarak karayollarının maliyeti göz önüne alındığı anlaşılmaktadır. Karayollarının yapım öncesi ve sonrası çevre ile ilişkili zararların önlenmesi veya araştırılması ile ilgili herhangi bir madde bulunmamaktadır. Hem çevre duyarlı hem de maliyet odaklı projelerin tasarımı ve uygulanması karmaşık bir süreç olup çok disiplinli bir çalışma gerektirmektedir. Ön etütlerin yapılması ve tüm çevresel faktörlerin bir araya getirilmesi için iyi bir izleme ve yönetme sistemi uygulanmalıdır. Her açıdan başarılı bir karayolu projesi, insanlar, araçlar ve çevresel etkileri ile oldukça etkin kullanımı olan ve zararından çok ülke ekonomisine ve gelişimine katkıda bulunacaktır. Bu nedenle bilinçli ve sürdürülebilir plan ve etüt platformlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu kapsamda plancılara ve teknik insanlara yol gösterebilecek, karayolu gelecek etkilerini modelleyip tüm karayolu aşamalarına rehberlik edebilecek karar destek sistemleri en etkin olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile mümkün hale gelmektedir. Proje öncesi ve sonrası arazi durumu, sosyal, çevresel ve ekonomik faktörler, karayolu yapım aşamasında kullanılacak konumsal veriler ve analizleri CBS platformunda mümkün olabilmektedir. Özellikle tahmin ve kestirim analizleri ile karayolu etkilerinin yıllar sonraki projeksiyonu ortaya konulabilmektedir. Örneğin karayolu kaynaklı hava

ve gürültü kirliliğinden etkilenecek yerleşimlerin bulunması, karayolunda meydana gelen trafik kazalarının izlenmesi, karayolu çevre değişimlerinin tespit edilmesi, geçtiği bölgelerdeki ekonomik katkının belirlenmesi ve sosyo-ekonomik getirilerin ortaya çıkartılması mümkün olmaktadır. CBS tüm bunların yanı sıra gerçekçi ve tüm ihtiyaçlara cevap verebilecek bir karayolu projesi tasarlanması için karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

CBS platformunda sıkça kullanılan ve kullanıcılara belirledikleri kriterlerle en uygun çözümü seçmeye yönelik analizlerin geneline Çok Ölçütlü Karar Analizleri (ÇÖKA) adı verilmektedir. Özellikle karayolu planı gibi, sosyolojik, topoğrafik, ekonomik ve çevresel faktörleri bir arada barındıran karmaşık problemlerde ÇÖKA yöntemleri her bir veri seti arasında uygun çözümü bulmaya yarayan araçlar barındırmaktadır. ÇÖKA, uygun yer analizleri için sıklıkla kullanılan yöntemleri barındırmaktadır (Wang ve Elhag, 2006; Joerin ve ark., 2001; Yu, 1973; Zolekar ve Bhagat, 2015).

ÇÖKA kapsamında en çok kullanılan yöntemlerden birisi Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)'dir. AHY uygunluk değerinin hesaplanması için kriterlere ağırlık veren bir yaklaşımdır (Saaty, 1977; 1980; Saaty ve Vargas, 1991; Saaty, 1994; 2001). AHY, farklı veri grupları arasından gerçek problemler için en uygun çözümü bulmaya yarayan işlemler bütünüdür (Arentze ve Timmermans, 2000) ve tüm bu işlemleri kriterleri karşılaştırma yoluyla yapmaktadır (Chen ve ark., 2010). ÇÖKA içerisinde AHY'den sonra en çok kullanılan yöntemlerden olan İdeal Çözüme Ulaşmak İçin Benzerlik Sıralaması Metodu (TOPSIS) ve Çok Kriterli Optimizasyon Ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR), AHY ile birlikte birçok meslek disiplinine uygulanan ve ideal çözümlerin bulunmasını amaçlayan yöntemlerdendir. TOPSIS yöntemi pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeleri en iyi çözüm olarak bulmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981). Pozitif ideal çözüm maksimum faydayı ve en aza indirgenmiş maliyeti temsil etmektedir. Bir başka deyişle negatif ideal çözüm maksimize edilmiş maliyet ve en aza indirgenmiş faydayı temsil etmektedir (Wang ve ark., 1990; Sakthivel ve ark., 2015; Ho ve ark., 2010). Son olarak VIKOR metodu benzer şekilde en ideal çözüme olan uzaklıkları sıralayarak belirlenen ağırlıklar çerçevesinde çözüm bulmaya odaklanmaktadır (Opricovic, 1998; Opricovic ve Tzeng, 2004).

Bu yöntemlere ek olarak kullanılan En Az Maliyetli Rota (EAMR), başlangıç ve bitiş noktası arasında en az maliyetli güzergâhın belirlenmesine yönelik oluşturulan algoritmalardır. Karayolu projeleri göz önüne alındığında proje aşamasında bir

başlangıç ve bitiş noktası arasında en uygun maliyetli güzergâhın geçirilmesi esastır. EAMR metotlarında iki nokta arasında en az maliyetli güzergâhın geçirilmesi temel amaçtır. Ancak bu noktada geçen maliyet kelimesi sadece ekonomik açıdan düşünülmemelidir. Örneğin çevreye verilen zarar bir maliyet olarak kabul edilir ve en az maliyetli güzergâh denildiğinde çevreye en az zarar veren güzergâh anlaşılmalıdır. Buradaki maliyet kavramı, güzergâh geçirilirken verilen parametreye en uygun güzergâhın geçirilmesi işlemi olarak algılanmalıdır. Karayolu projesinde ekonomik, topoğrafik, çevresel ve sosyal parametreler göz önüne alındığında, maliyeti belirten bir veri setinin hazırlanıp herhangi birisine göre güzergâh geçirilmesi mümkün hale gelmektedir. Karayolu yapımı için en uygun bölgelerin belirlenmesinin yanı sıra bu bölgelerdeki en uygun güzergâhın geçirilmesi de büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada karayolu proje aşamasında dikkat edilen kriterlerin ekonomik, çevre ve her ikisinin birleşimi olan hibrid yaklaşımla incelenerek en uygun karayolu yapım yerlerinin bulunması ve bu bölgelerde çevre, ekonomik ve hibrid yaklaşımlı güzergâhların çizilmesi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan güzergâhların ne kadar kullanılabilir olduğu, birbirleri arasındaki farklılıklar ve bu güzergâhların ÇÖKA, CBS ve EAMR entegrasyonu ile yapılabilirliğinin ortaya konulması gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Karayolu güzergâh belirleme ve karayolunun çevreye etkileri üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında uygun karayolu yapım bölgelerinin belirlenmesinin Çok Ölçütlü Karar Analizleri ile yapılması üzerine az sayıda yayın olduğu görülmektedir. Özellikle kullanılacak kriterler belirlenirken karayolu-çevre ilişkisi ve yapılan yayınlarda öncelikli dikkat edilmesi gereken konuların belirlenmesi amacı ile karayolu ile ilgili yayınlar incelenmiştir. Karayollarının çevreye verdiği etkilere bakıldığında (Coffin, 2007; Schweikert ve ark., 2014) genel olarak ormanların zarar görmesi, habitatın etkilenmesi ve hava kirliliği üzerine çalışmaların yoğunlukta olduğu görülmektedir.

Ormanların zarar görmesi, içerisinde barındırdığı habitatın etkilenmesi ve zamanla karayolu etrafındaki orman alanlarının azaldığı (Costa, 1976; Chomitz ve Gray, 1996; Cropper ve ark., 1999; Cropper ve ark., 2001; Ali ve ark., 2005; Pfaff ve ark., 2007; Gaveau ve ark., 2009; Freitas ve ark., 2010; Holderegger ve Giulio, 2010; Deng ve ark., 2011; Lewis ve ark., 2011; Abbott ve ark., 2012; Bottazzi ve Dao, 2013; Barber ve ark., 2014; Newman ve ark., 2014; Li ve ark., 2015) çalışmaları ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar genel olarak konumsal analizler ve algoritmalar ile karayollarının orman alanlarına etkisi üzerine çalışmıştır. Uydu görüntülerinden ve konumsal analizlerden yararlanılarak orman alanlarının izlenmesi ise (Nelson ve Hellerstein, 1995; Nelson ve Hellerstein, 1997; Moonen ve ark., 2016) tarafından yapılan çalışmalarda gerçekleştirilmiştir.

Karayollarında seyreden araçların hava kirliliğine neden olması, bu durumun çevreye etkisi ve modelleme çalışmaları (Clark ve ark., 2012; Pattinson ve ark., 2014; Patton ve ark., 2014; Batterman ve ark., 2015; Coria ve ark., 2015; Kodavanti, 2015; Lanki ve ark., 2015; Macala ve ark., 2015; Mittal ve ark., 2015; Yazdi ve ark., 2015; Agudelo-Castaneda ve ark., 2016; Bucur ve Danet, 2016; Farrell ve ark., 2016; Nowakowska-Grunt ve Strzelczyk, 2016; Wang ve ark., 2016; Ahangar ve ark., 2017; Calderon-Garciduenas ve Villarreal-Rios, 2017; Fallah-Shorshani ve ark., 2017; Hu ve ark., 2017; Jandacka ve ark., 2017) tarafından yapılmıştır. Çalışmalar genel olarak karayolu etrafında yaşayan insanların ve yerleşkelerin etki durumlarını incelemektedir. Bu nedenle yerleşim merkezlerinin karayolu güzergah tespitinde önemli bir kriter olduğu ortaya çıkmaktadır.

Karayollarının etkilenen habitatlar ve göç yolları üzerine olan (Lyon, 1983; Mader, 1984; Witmer ve Decalesta, 1985; Ortega ve Capen, 1999; Gunn ve Sein, 2000; Keller ve ark., 2004; Deckers ve ark., 2005; Lambertucci ve ark., 2009; Marsack ve Swanson, 2009; Votsi ve ark., 2012; Jung ve ark., 2013; Morelli ve ark., 2014; Mammides ve ark., 2015; Redon ve ark., 2015) çalışmalar incelendiğinde genel olarak habitatın karayollarından ayrılması ve oluşan koridor alanlarının etkisi araştırılmıştır. Çalışmaların çoğunda karayollarının bölgelere göre yaşayan habitatı doğrudan etkilediği ortaya çıkmaktadır.

Karayollarının tarımsal arazi üzerine etkileri ve özellikle tarımsal alanların parçalanması, zarar görmesi ve kirlilikten etkilenmesi üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Saunders ve ark., 2002; Funderburg ve ark., 2010; Datta, 2012; Wu ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2015).

EAMR ile yapılan çalışmalara bakıldığında enerji nakil hatları, boru hatları (Feldman ve ark., 1996; Yusof ve Baban, 2004; Bagli ve ark., 2011) ve karayolu güzergâh hesaplaması (Stefanakis ve Kavouras, 1995; Lee ve Stucky, 1998; Collischonn ve Pilar, 2000; Adriaensen ve ark., 2003; Yu ve ark., 2003; Rees, 2004; Tan ve Leong, 2004; Atkinson ve ark., 2005; Rescia ve ark., 2006; Teng ve ark., 2011; Kara ve Usul, 2012; Hassan ve Effat, 2013; Rooshdi ve ark., 2014) gibi çalışmaların olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların detayı aşağıda verilmiştir.

Sayısal Yükseklik modelinden karayolu güzergâhının EAMR ile hesaplanması ve sonuçları Lee ve Stucky, (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sadece arazi modeli üzerinden güzergâh tespitine yönelik çalışmada askeri, sivil ve turizm amaçlı güzergâhların tespiti yapılmıştır. Yol ve kanal güzergâhlarının çizimi için Collischonn ve Pilar, (2000) EAMR yöntemi kullanmıştır. Algoritma içerisinde eğim, yön ve maliyet değerini göz önüne alarak kanal güzergâhı çizimi gerçekleştirmişlerdir. Fonksiyonel yüzey analizi ve güzergâh çizimi EAMR metodu ile Adriaensen ve ark, (2003)'ün çalışmalarında gerçekleştirilmiştir. Arazi yüzeyindeki engelleri ve topoğrafik özellikleri göz önüne alarak yol güzergâhı oluşturmuşlardır. Karayolu planlaması ve güzergâh çizimi için Yu ve ark, (2003) yazılım geliştirmiş ve EAMR metodunu kullanarak uygulama yapmışlardır. Algoritmalarında su, tarım, orman, dağlık ve mera alanlarını baz alarak güzergah tayini yapmışlardır. Dağlık alanlarda karayolu güzergâhı çizimi Rees, (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında dağlık alanlarda güzergah geçirimi için eğim ve yükseklik kriterlerini baz almışlardır. Zaman ve hız odaklı güzergâh çizimi için EAMR metodunu Tan ve Leong, (2004) kullanmıştır. Şehir

içi ulaşım yolları için zaman odaklı bir uygulama yapmışlardır. Tüm hava şartlarına uygun karayolu güzergâh hesaplaması için EAMR metodunu Atkinson ve ark, (2005) uygulamıştır. Jeoloji ve arazi kullanımı kriterlerini çalışmalarına dahil etmişlerdir. Çok amaçlı karayolu güzergâhı için EAMR metodunu Teng ve ark, (2011) gerçekleştirmiştir. Çevresel, habitat, koruma alanları ve endemik alanlarının korunmasına yönelik bir güzergâh tayini gerçekleştirmişlerdir. İstanbul ili için karayolu güzergâhı tasarımı Kara ve Usul, (2012) tarafından uygulanmıştır. Jeoloji, eğim, yükseklik gibi kriterleri göz önüne almışlardır. Çevre, ekonomik ve hibrid odaklı güzergâh tasarımı EAMR metodu ile Hassan ve Effat, (2013) tarafından ortaya konulmuştur. Bu çalışma çevre, ekonomik ve hibrid odaklı rotaların karşılaştırılmasını gerçekleştirmiştir. Kriter olarak jeoloji, arazi kullanımı, su kuyuları, karayollarına uzaklık ve yağış gibi verileri dâhil etmişlerdir.

EAMR ile güzergâh belirlenmesi çalışmaları boru hatları ve belirli bir amaç dâhilinde güzergâh planlaması alanlarında sıkça kullanıldığı görülmektedir. Ancak hem karayolu yapımına uygun olan yerlerin belirlenmesi hem de bu bölgelerde güzergâh çizimi üzerine en öne çıkan çalışma Hassan ve Effat, (2013) tarafından ortaya konulmuştur. Tüm bu çalışmalara ek olarak, nüfus ve yerleşim yerlerine yakınlık kriteri eklenerek bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çok Ölçütlü Karar Analizleri

Karar analizleri, karmaşık karar problemlerinin çözümü için matematiksel modellerin ortaya konularak, sistematik analizler ve istatistiksel irdelemelerle çözümlenmesi olarak tanımlanmaktadır (Malczewski, 1999). Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA), çoklu ve birbiriyle çatışan amaçların (kriterlerin) gerçekleştirilmek istendiği problemlerin çözümüne verilen genel isimdir. ÇÖKA problemi, birden fazla sayıda kriterin bir arada değerlendirilmesi gereken durumlarda uygulanan bir çözümdür. Problem çözümündeki temel yöntem problemi küçük, basit ve anlaşılabilir parçalara bölerek bu parçalardan anlamlı bir sonuç elde edilebilecek şekilde bağlantı kurmaktır (Malczewski, 1999; Öztürk ve Batuk, 2010). ÇÖKA alanında en çok kullanılan analizler, AHY, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ve VIKOR yöntemleridir.

ÇÖKA, problemin tanımı, probleme ilişkin ölçütler ve bu ölçütlerin uygunluğunun belirlenmesi aşamalarını içerir (Malczewski, 1999). ÇÖKA, probleme göre değişen öneme sahip çok sayıda ölçütler arasından en uygun seçim yapmayı amaçlayan bir işlemdir. Sonuç ölçütlere verilen ağırlıklarla uygunluk değerleri elde edilir ve karar vericinin bu ağırlıkları değiştirerek çıkan sonuçları analiz etmesi beklenir (Öztürk ve Batuk, 2010).

ÇÖKA'da bir problemin çözüm hedeflerinin oluşturması için ilk adım olarak kriterlerin değerlendirilmesi gereklidir. Değerlendirme ölçütünü kullanılacak kriterler ve onların öznitelikleri belirlemektedir. Bir özniteliğin değerini minimum ve maksimum değerleri temsil etmektedir. Bu ölçütler seçeneklerle beraber değerlendirildiğinde seçeneklerin önemine göre bir sıralama yapılır.

- Kriterlerin belirlenmesi
- Kriterlerin önem derecelerinin belirlenerek ağırlıklandırmanın yapılması
- Farklı alternatifler, kriterler ve kriter ağırlıkları kullanılarak karar tablosunun değerlendirilmesi
- Kriter ağırlıkları kullanılarak karar vericinin çözüm için öngördüğü tercihlerinin belirlenmesi
- Sonuçlardaki tutarlılığın test edilmesi için duyarlılık analizi yapılması

- Her bir alternatif için son önerilerin yapılması adına iyi alternatiflerin ayrılması veya alternatiflerin iyiden kötüye doğru sıralanması.

3.1.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), 1970'li yıllarda Saaty tarafından ortaya konulan, karmaşık karar verme durumlarında alternatifler içerisinden verilen öneme göre en uygun veri setini bulmaya yarayan karar mekanizmasıdır. Çok alternatifli seçim yapmaya olanak vermek için oluşturulan bu yöntemde nicel ve nitel faktörlerin bir arada değerlendirilmesi mümkün hale gelmektedir (Bertolini ve Bevilacqua, 2006).

Karar vericilerin karmaşık veriler arasında doğru veriye ulaşmalarını sağlayan bu yöntem karar vericinin deneyim ve düşüncelerini mantıksal ve lineer olarak ortaya koymasını sağlamaktadır (Triantaphyllou ve Mann, 1995). Temel olarak ise kriterler arasında hiyerarşinin kurulması, üstünlüklerin belirlenmesi ve mantıksal tutarlılıkların ortaya konulması esasına dayanmaktadır (Wind ve Saaty, 1980). Bu üstünlüklerin ortaya konulmasında esas nokta veriler arasındaki hiyerarşinin sağlanmasıdır. Bir nevi problemin çözümüne yönelik işlem sırasını ortaya koyan bu hiyerarşi ile aynı grupta yer alan verilerin farklı grupta yer alan veriler ile karşılaştırılabilmesi ve mantıksal bağlamda değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece karar vericinin düşüncelerini ve karar verici mekanizma içerisindeki düşünce eğilimini yansıtmış olacaktır (Henson ve ark., 2002). Hiyerarşi kurulurken en alt basamaktaki kriterler bir üst basamağı, onlar ise kendilerinin üstündeki kriterleri etkileyerek karar vermeye doğru yol almaktadırlar (Millet, 1998).

Hiyerarşi oluşturulduktan sonraki adım ise kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi işlemidir. Bu önemin belirlenmesi için kriterlerin ikili olarak karşılaştırılmaları gerekmektedir. Bu aşamadaki temel amaç, elemanların göreceli önemlerinin belirlenmesi ve bu önemlerin ana hedefe olan etkisinin belirlenmesidir. Karşılaştırmalar, bir üst seviyede bulunan kritere göre karşılaştırılan iki elemandan hangisinin daha önemli olduğunun belirlenmesi için yapılmaktadır (Vahapoğlu, 2008).

İkili karşılaştırma yapılırken, bir unsurun diğer bir unsur üzerinde ne kadar etkili olduğunu tespit edebilmek için ölçeğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda Saaty tarafından önerilen 1-9 temel ölçeğindeki önem skala değerleri ve tanımları açıklanmıştır (Wind ve Saaty, 1980).

Problemin Tanımlanması: Problem tanımlanırken bu problemin analitik yapısının AHY çözümüne uygun olup olmadığı değerlendirilmelidir. Sonuç olarak AHY yöntemi sayısal bir ölçek üzerinde çalıştığından problemin tanımlanması önemli bir adımdır.

Sistemin Gözlenmesi: AHY kriterler ve alt elemanlar arasında hiyerarşik bir yapı kurduğundan dolayı, ilişkilerin düzenlenmesi ve hiyerarşik yapının mantıksal bağlılığı büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle ilişkiler tutarlığı gözlemlenmelidir.

Hiyerarşik Yapının Kurulması: Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki analiz modeli olarak da ifade edilebilen bu aşamada hangi kriterin hangi kriter ile eşleştirildiği ve özellikle üstten aşağıya doğru giderken kriterlerin mantıksal sıralaması çok önemlidir. Karar sürecini doğrudan etkileyecek olan bu sıralama üzerinde dikkatle durulması gereken bir konudur.

Önceliklerin Belirlenmesi: Hiyerarşi kurulması bittikten sonra en önemli hususlardan diğeri ağırlıkların hesaplanmasıdır. Etkisi olmayan kritere daha fazla ağırlık verilmesi sonuç çıktı ürünü olumsuz etkileyecektir. Bu yüzden düzgün hiyerarşi kurulumundan sonra düzgün ve tutarlı ağırlıkların verilmesi gerekmektedir.

Değerlendirme ve Sonuç: Tüm işlemlerin tamamlanmasının ardından "Tutarlılık Oranı" hesaplanır. Bu indeksin 0,1 ve daha yüksek çıktığı durumlarda değerlendirmelerin uyumsuz olduğu belirtilmektedir. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar, sağlıklı seçim yapılabilmesi için yeterli olmadığından sistemin daha kararlı hale getirilmesinde veya yeni hedeflere yönelmede geri besleme olarak kullanılabilirler. Hiyerarşinin yapısını değiştirmek sureti ile yapılabilecek model değişiklikleri aşamasına geçmeden önce ikili karşılaştırmalar kontrol edilmelidir. Tutarlılık Oranı, kabul edilebilir düzeyde ise mantıklı olarak en büyük göreli ağırlığa sahip olan alternatif seçilir ve uygulanır. Çizelge 3.1'de bu skala gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Saaty (1980) önem dereceleri skalası

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemli	Her iki faktör aynı öneme sahiptir.
3	Orta Derece Önemli	Tecrübe ve yargılara göre bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Yüksek Derece Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Yüksek Derece Önemli	Bir faktör diğerine oranla çok yüksek derecede önemlidir.
9	Son Derece Önemli	Faktörlerden biri diğerinden mutlak derecede önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerler	İki faktör arasındaki tercihte küçük farklar olduğunda kullanılır.

Karşılaştırma matrisleri oluşturulurken bu skala değerleri kullanılarak kriterlerin her birisinin birbirine karşı olan önemi belirlenmektedir. Matrisin diagonal değeri 1'e eşit olmaktadır. Eşitlik 1'de karşılaştırma matrisi elemanları gösterilmektedir.

A	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	…	Kriter n
Kriter 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	…	a_{1n}
Kriter 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	…	a_{2n}
Kriter 3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	…	a_{3n}
…	…	…	…	…	…
Kriter n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	…	a_{nn}

(1)

Karşılaştırma matrisinin her bir elemanı kendi sütun toplamına bölünerek normalleştirilmiş matris elde edilmektedir. Normalleştirilmiş matrisin elde edilmesi için Eşitlik 1 kullanılmaktadır.

$$a_{ij}^{1} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{2}$$

Normalleştirilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1'e eşit olmaktadır. Sonraki adımda ise her bir satır toplamı matris boyutuna bölünerek bulunan sayının toplamının ortalaması her bir kriterin ağırlığını temsil etmektedir. Öz vektör olarak da adlandırılan ağırlıklar karşılaştırma matrisi oluşturmada kullanılan her bir kriter için Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^{n} a'_{ij} \; (i, j = 1,2,3, \ldots., n) \tag{3}$$

Karşılaştırma matrisindeki kriterlerin ağırlıklarının tutarlı olup olmadığının hesaplanması için bir tutarlılık hesabının yapılması gerekmektedir. Her bir kriter için atanan önem değeri, her bir kriterin sayısal olarak ağırlığını temsil etmektedir. Bu yüzden karşılaştırma matrisinin öz değer ve öz vektör değerleri, karşılaştırma matrisinin tutarlı olup olmadığı hakkında önemli bilgiler vermektedir (Saaty ve Vargas, 1991).

Tutarlılık indeksi (T_i) olarak da adlandırılan bu değer, Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanarak karşılaştırma matrisinin tutarlılığı hakkında bilgi vermektedir (Saaty, 1994).

$$Ti = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4)$$

Tutarlılık indeksinin hesaplanması Eşitlik 5 yardımıyla λ_{max} (özdeğer) değeri ile mümkün olmaktadır (Saaty, 1994).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, w_j}{w_i}\right] \quad (5)$$

Tutarlılık indeksinin hesaplanması için Random Indeks (R_i) olarak adlandırılan değerin hesaplanması gerekmektedir. Her bir matris boyutu için R_i değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Random indeks değerleri

n	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Ri	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

T_i ve R_i değerlerinin hesaplanmasının ardından Tutarlılık Oranı (T_o) hesaplaması Eşitlik 6 yardımıyla yapılacaktır. Deneyimler ve uzman görüşleri baz alındığında bu değerin 0,1'i aşması durumunda karşılaştırma matrisinde verilen değerlerin gözden geçirilmesi gerekmektedir (Saaty ve Vargas, 1991).

$$To = \frac{Ti}{Ri} \quad (6)$$

3.1.2. En Az Maliyetli Rota Algoritması

Genel olarak güzergâh belirleme ve yönlendirme problemleri EAMR algoritmaları üzerine kurulu olmaktadır. İki bağlantı noktası arasındaki maliyet değeri iki yönlü olarak hesaplanmaktadır. Bu kapsamda çok sayıda algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalardan en yaygın olarak kullanılanlar Dijkstra's ve Bellman-Ford algoritmalarıdır (Nader, 2006).

Dijkstra's algoritması orta merkezli noktadan bilgi toplayan merkezlenmiş rota algoritmasıdır. Çoklu iterasyon yöntemi ile çıkış düğüm noktasından diğer tüm bağlı düğüm noktalarına olan maliyet değerini hesaplamaktadır. Dijktra's algoritması bazı başlangıç değerleri hesaplamakta ve adım adım bu değeri iterasyon ile geliştirmektedir (Rees, 2004). Bu algoritmanın adımları ise şu şekildedir;

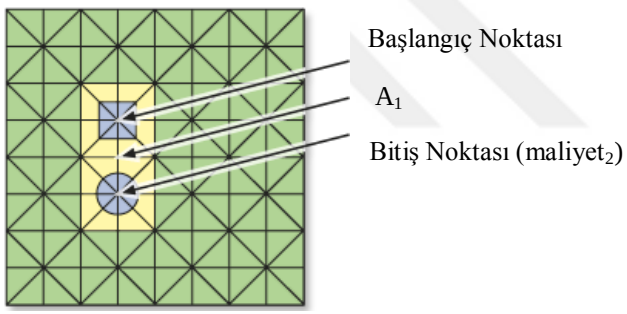
1- Hedef hücreye geçici olarak sıfır değeri atanması,
2- Hedef hücreye olan bütün komşu hücrelerin belirlenerek aktif hücreler adı altında tüm komşu hücrelerin listesinin oluşturularak her biri için maliyet değerinin hesaplanması,
3- Maliyet değeri en az olan hücrenin bulunarak ***C*** olarak isimlendirilmesi ve maliyet değerinin ***k*** olarak isimlendirilmesi,
4- ***C*** hücresine komşu olan tüm hücrelerin ***S*** olarak adlandırılması ve ***C*** hücresine giderken ki maliyet değerlerinin ***l*** olarak isimlendirilmesi,
    a. Eğer ***C*** hücresi listede yer almıyorsa listeye ***k + l*** olarak eklenmesi
    b. Eğer listede mevcut ise, ***k + l*** değerini bu hücrenin geçici maliyet değeri ile karşılaştırılması. Eğer ***k + l*** değeri bu geçici değere eşit veya daha büyükse ***C*** hücresinin değerini ***k + l*** olarak değiştirilmesi,
5- ***C*** hücresinin değerini geçiciden kesin değere dönüştürülmesi ve listeden silinmesi,
6- En küçük geçici maliyet değerini alan hücrenin belirlenerek liste boşalana kadar 3. işlem adımından devam edilmesi, (Rees, 2004; Dijkstra, 1959).

Topolojik olarak EAMR açıklaması ise raster veriler üzerinden aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

Bir düğüm noktasından diğerine geçiş için olan maliyet değeri, bu iki düğüm noktasının konumsal yönlerine bağlıdır. Bu düğüm noktalarının nasıl bağlandığı ise maliyet değerini etkileyen başlıca faktördür. Maliyet değerinin hesaplanmasında topoloji kuralları büyük bir öneme ve etkiye sahip olmaktadır. Raster veri üzerinde düşünüldüğünde düğüm noktaları piksel olarak temsil edilmekte olduğundan, bir pikselden diğerine geçiş için 4 farklı yön bulunmaktadır ve maliyet değeri Eşitlik 7 ile hesaplanabilmektedir.

$$a_1 = (maliyet_1 + maliyet_2) / 2 \quad (7)$$

Burada $maliyet_1$ ilk pikselin, $maliyet_2$ ikinci pikselin maliyet değerleri olmakta ve a_1 ise iki piksel arasındaki toplam maliyet değerini temsil etmektedir. Şekil 3.1'de dikey ve yatay hücreler arası maliyet değeri gösterilmektedir.

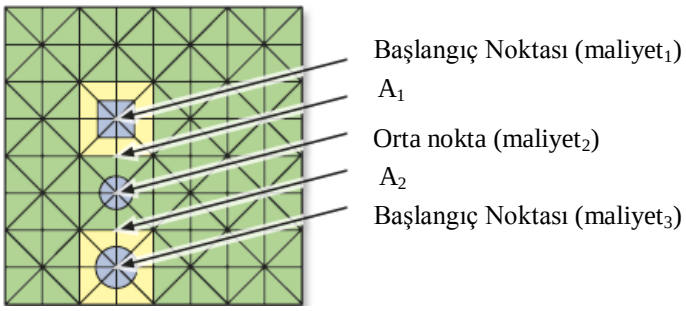


Şekil 3.1. Dikey ve yatay hücre hesaplamaları

Gruplanmış maliyet değeri ise Eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır.

$$grup_maliyet = a_1 + (maliyet_2 + maliyet_3) / 2 \quad (8)$$

Bu formülde $maliyet_2$ piksel 2'nin, $maliyet_3$ piksel 3'ün maliyet değerleri olup, a_2 değeri ise piksel 2'den 3'e geçişteki maliyet değeri olmaktadır. Grup_maliyet değeri ise piksel 3'ten 1'e geçişteki maliyet değerini temsil etmektedir. Şekil 3.2'de gruplandırılmış maliyet değeri formülü gösterilmektedir.



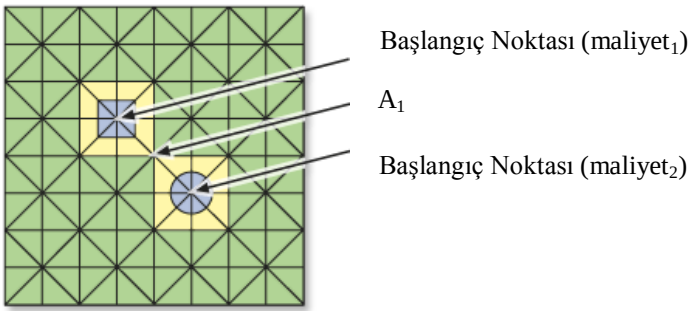
Şekil 3.2. Gruplandırılmış maliyet hesaplaması

Eğer hareket yönü çapraz ise karekök 2'nin değeri olan 1.414214 değeri ile Eşitlik 9'daki gibi çapılması gerekmektedir.

$$a_1 = 1.414214\ (maliyet_3 + maliyet_2) / 2 \quad (9)$$

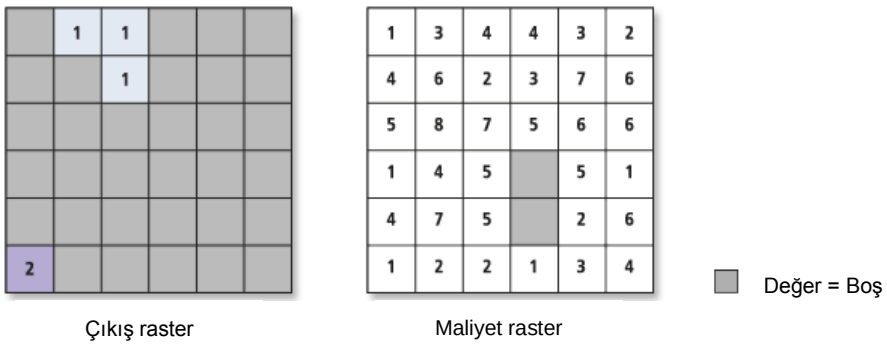
Gruplanmış piksellerde çapraz yönelme hesaplanması gerektiğinde Eşitlik 10'un kullanılması gerekmektedir. Şekil 3.3'te çapraz yönlendirme gösterilmektedir.

$$çapraz_maliyet = a_1 + 1.414214(maliyet_2 + maliyet_3) / 2 \quad (10)$$



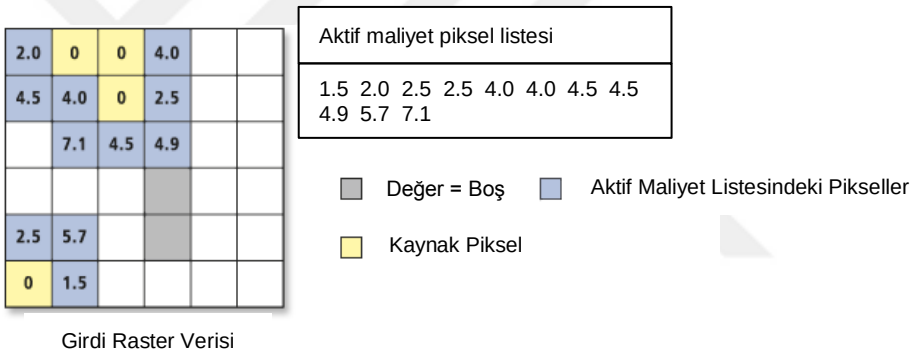
Şekil 3.3. Çapraz yönlendirme formülü

Graph teori yöntemi ile en az maliyet değerine sahip pikselin bulunması için maliyet raster oluşturulması işlemi ise aşağıda gösterilmektedir. Bu işlem kaynak hücreden başlayan iterasyon işlemi olarak da adlandırılmaktadır. Her bir hedef hücrenin değeri çıktı maliyet raster verisine işlenmektedir ve Şekil 3.4'te verilmektedir.



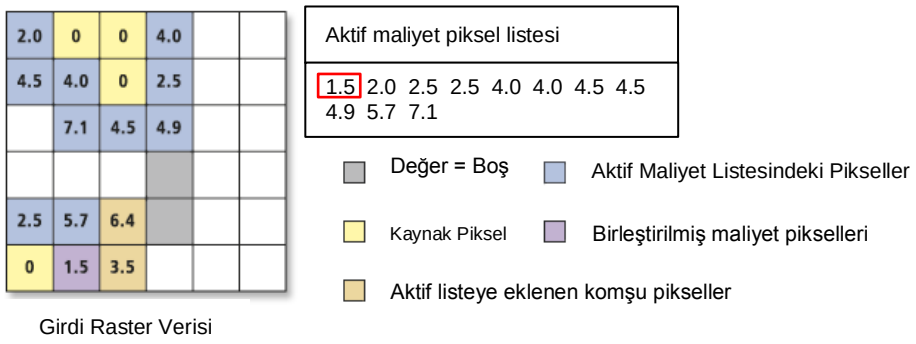
Şekil 3.4. Çıkış ve maliyet raster verilerinde hücrelerin ayarlanması

İlk iterasyonda kaynak hücrelere 0 değeri atanmaktadır. Sonraki adımda ise kaynak hücrenin tüm komşuları aktif hale getirilerek kaynak hücre ile aralarındaki maliyet değerleri gruplanmış maliyet formülü yardımıyla hesaplanmaktadır. Tüm bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralanarak bir liste içerisine yazılmaktadır (Şekil 3.5).



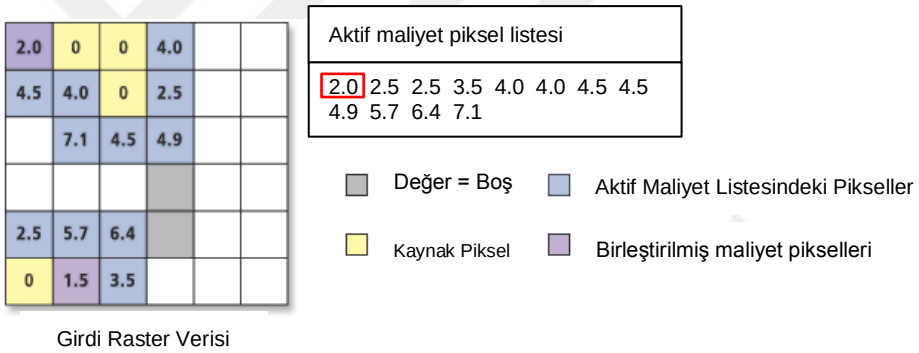
Şekil 3.5. İlk işlem başlangıcı

En düşük maliyet değerine sahip olan hücre bu listeden seçilerek çıktı maliyet raster verisine bu değer yazılmaktadır. Sonrasında seçilen bu hücrenin komşu hücrelere olan maliyet değerleri de bu liste içine eklenerek işleme devam edilmektedir. Ancak bu listede sadece kaynak hücreye geçiş yapabilecek hücrelerin aktif hale getirildiği unutulmamalıdır. Bu hücrelere geçiş için olan gruplanmış maliyet değerleri de hesaplanmaktadır (Şekil 3.6).



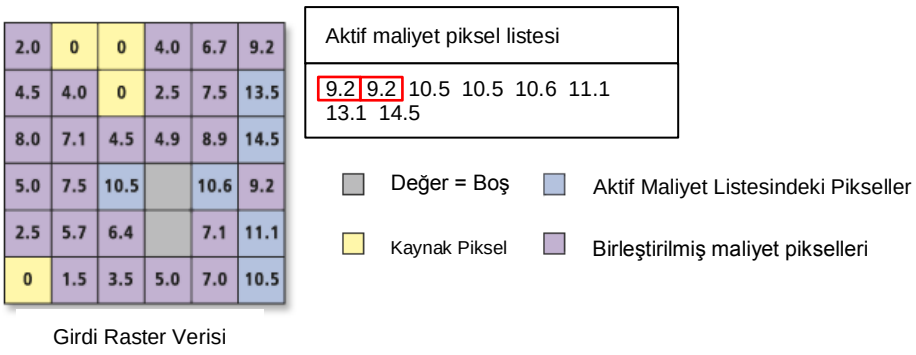
Şekil 3.6. İkinci iterasyon ile komşu piksellerin bulunması

Bu listede tekrar en düşük maliyet değerine sahip olan hücre seçilmekte ve komşu hücreleri aktif hale getirilmektedir. Bir önceki adımda tekrarlanan işlemlerin aynısı bu adımda da devam ettirilmekte ve her seferinde seçilen hücrenin etrafındaki komşu hücreler de eklenerek işleme devam edilmektedir (Şekil 3.7).



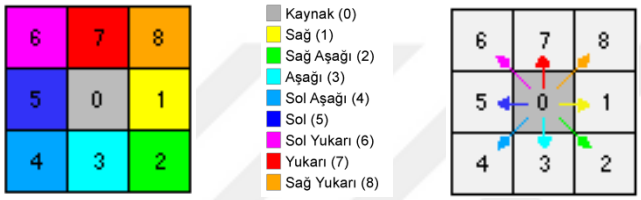
Şekil 3.7. Üçüncü iterasyon ile komşu piksellerin bulunması

Tüm hücreler işleme girdiğinde ise işlem sonuçlanmış olmaktadır. Son işlem adımında ise tüm hücrelerin maliyet değerleri hesaplanmış olmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Hedef hücreye ulaşmadaki son işlem adımı

Her ne kadar çıktı raster veri tüm maliyet değerlerini barındırıyor olsa da hareket yönü bilgisi içinde bulunmamaktadır. Bu nedenle en düşük maliyet değerlerine sahip hücreler arasında hareket yönünü sağlamak ve güzergâh çizimi yapmak amacı ile Yönlendirme ismi verilen bir raster verisi oluşturulmaktadır. Bu verinin oluşturulmasında her bir hücreye bir değer verilmektedir. Tamsayı formatında 0-8 değerleri arasında kalan herhangi bir tamsayı değeri atanarak yön tayini yapılmaktadır. 0 değeri kaynak hücreyi göstermekte olup, 1'den 8'e kadar olan değerler yönleri göstermektedir. Şekilde değerler ve temsil ettikleri yönler gösterilmektedir (Şekil 3.9).



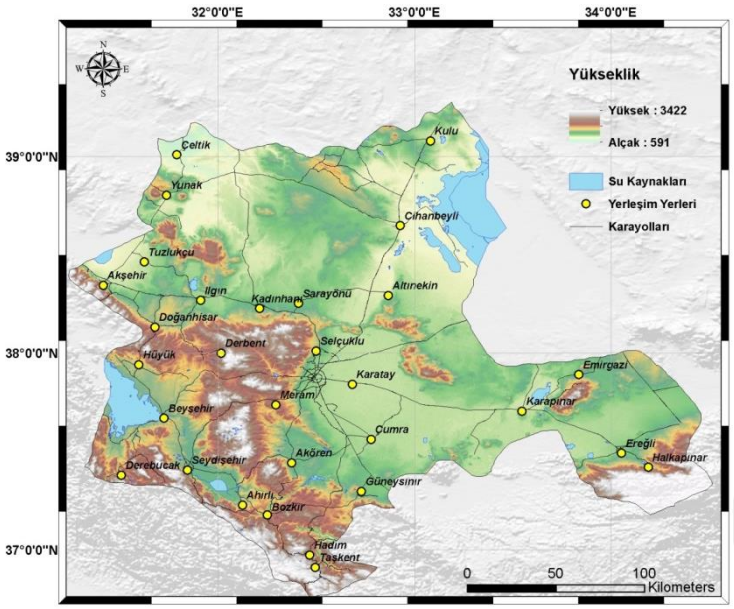
Şekil 3.9. Yönlendirme raster verisindeki piksel değerleri

3.2. Çalışma Alanı Tanıtımı

Konya ili, Türkiye'de 3045 kilometre uzunluğa sahip karayolları ile en uzun yol ağına sahiptir. Yüzölçümü olarak en büyük il olmasının yanında coğrafi konum açısından Türkiye'nin ortasında bulunması nedeniyle ulaşımda durak noktası konumundadır. İç Anadolu bölgesine Akdeniz bölgesinden ulaşım konusunda tek nokta olması sebebiyle ekonomik olarak da büyük bir öneme sahiptir. Tarım, sanayi ve hayvancılık alanındaki taşımacılığın büyük bir kısmı Konya karayolları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Tarımsal alanda çok geniş bir üretime sahip olan Konya ili, aynı zamanda sanayii ve endüstri alanında Türkiye'nin büyük bir yüzdesine sahiptir. Son günlerde güneş ve rüzgâr ile elektrik üretimi potansiyelinin artması ile birlikte karayolları ve kullanım yoğunluğu daha da artması öngörülmektedir.

Konya topoğrafyasına bakıldığında genel olarak düz ve geniş ovaların yer aldığı görülmektedir. Güney kısmında Toros dağlarının başlaması ile dağlık karakter göstermektedir. Genel kapsamda sahip olduğu büyük su kaynakları sebebiyle bazı bölgeler nemli bir iklim göstermekte iken, Karapınar ilçesi gibi volkanik bir yapıya

sahip olan bölgelerde ise çöl iklimi hüküm sürmektedir. Ortalama yüksekliği 1020 metre olan ilde 2127 km^2 yüzölçümüne sahip su kaynakları bulunmaktadır. İklim özelliklerine göre yaz aylarında 45 dereceyi görebilen Konya, kış aylarında ise -25 derece sıcaklığa düşebilmektedir. Kış ayları genel olarak kar yağışlı ve yer yer don olayları yaşanmaktadır. Tipik olarak iç kesimlerde görülen iklim özelliklerini barındıran Konya ili, değişen topoğrafyası ve çevre koşulları nedeniyle farklı iklim özellikleri gösterebilmektedir. Şekil 3.10'da Konya ili sınırları ve karayolları ağı görülmektedir.



Şekil 3.10. Çalışma alanı

3.3. Kriter Seçimi ve Kullanılan Veriler

Kriter seçimi, karayolu yapımındaki beklentiler, sınırlamalar ve gereksinimler göz önüne alınarak belirlenmelidir. Karayolu yapımında kullanılacak olan kriterler en ana başlıkta ekonomik ve çevresel olarak iki gruba ayrılmaktadır.

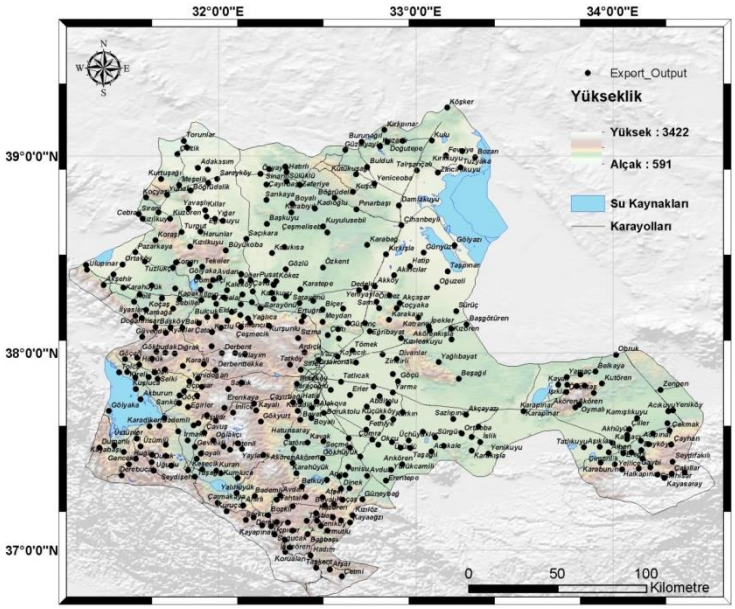
Çalışma kapsamında kriter haritalarının üretilebilmesi, uygun güzergahların hesaplanabilmesi ve AHY ile ağırlık hesaplarının yapılabilmesi için kullanılan veriler aşağıda sıralanmıştır. Her bir verinin elde edildiği kurum, veri kaynağı ve buna bağlı olarak ölçek değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan verilerin elde edildiği kurumlar ve ölçekleri

Veri	Format	Ölçek	Veri Kaynağı
Corine 2012	Raster	1:5000	U.S. Geological Survey (USGS).
Sınır Haritası	Vektör	1:5000	Open Street Map Veritabanı
Karayolu Verisi	Vektör	1:5000	Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü
Nüfus Verisi	Sözel		Türkiye İstatistik Enstitüsü
Yerleşim Yerleri	Vektör	1:5000	Konya Büyükşehir Belediyesi
Yükseklik Verisi	Raster	1:5000	Aster Global Digital Elevation Model
Eğim	Raster	1:5000	Yükseklik Verisinden Türetilme
Jeoloji	Vektör	1:1000	Maden Tetkik Arama Enstitüsü
Su Kaynakları	Vektör	1:1000	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

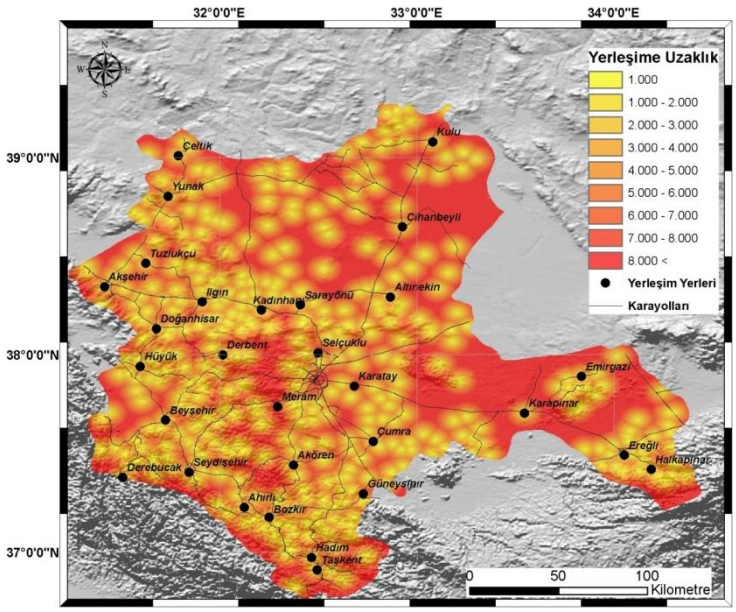
3.3.1. Yerleşim yerlerine uzaklık

Yerleşim yerlerine uzaklık karayolları için önemli bir kriterdir. Dinlenme tesisleri, konaklama, sanayii ve diğer gereksinimler için karayollarının şehir merkezlerine yakın geçmesi tercih edilmektedir. Ancak otoban gibi geniş kapasiteli ve yüksek maliyetli yollar düşünüldüğünde bu kriter çok dikkate alınamamaktadır. Ülkemizde yıllarca karayolları bir gelişme göstergesi olarak görülmüş ve birçok ilçenin ve yerleşim yerinin kalkınmasına ve gelişmesine yol açmıştır. Bu kapsamda şehir merkezlerine yakınlık önemli bir kriter olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Şekil 3.11'de Konya ili yerleşim yerleri görülmektedir.



Şekil 3.11. Çalışma alanı yerleşim noktaları

Konya Büyükşehir Belediyesi verilerine göre Konya ili 584 yerleşim yerine sahiptir. İlçe ve mahalle bazında toplam olarak verilen bu sayı esas olarak nüfus yoğunluğu kriterinde ele alınacaktır. Yerleşim yerlerine yakınlık haritası ArcGIS 10.1 yazılımı Buffer analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En kısa mesafe 1000 metre alınmış ve en uzak mesafe ise 9000 metre ve üzeri şeklinde 9 sınıfa ayrılmıştır. Yerleşime en yakın yer en uygun olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 3.12'de yerleşim yerlerine uzaklık haritası verilmiştir.



Şekil 3.12. Yerleşime uzaklık haritası

Yerleşim yerlerine uzaklık verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış verileri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yerleşim yerlerine uzaklık değerleri sınıflandırılması

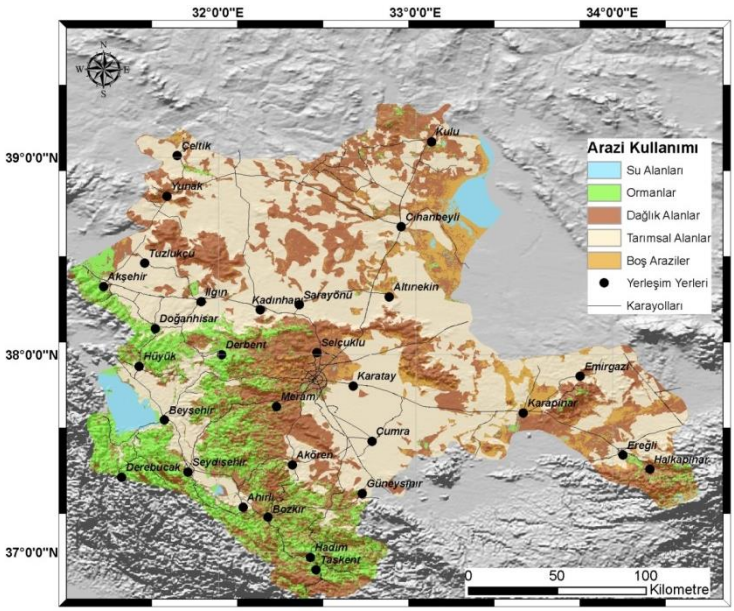
Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Değer (metre)	0-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	6000-7000	7000-8000	8000 <

3.3.2. Arazi kullanımı

Arazi kullanımı karayolları yapımını etkileyen bir başka kriterdir. Arazinin mevcut kullanımdaki formu gerek ekonomik gerek çevre odaklı karayolu yapımında önem arz etmektedir. Özellikle son yıllarda karayolu yapımında zarar gören ormanlar,

yok olan tarımsal araziler ve değişen göç yolları gibi birçok konu gündeme gelmekte ve geniş yer tutmaktadır. Bu nedenle karayolu planlama aşamasında bu hususların göz önüne alınması gerektiğinden uygunluk hesaplanmasına bu kriter eklenmiştir. Arazi kullanımı verisi CORINE 2012 verisi kullanılarak sınıflandırma yöntemi ile elde edilmiştir. CORINE verisinde bulunan 50 adet sınıf, tarımsal arazi, ormanlık alanlar, su kaynakları, dağlık alanlar ve boş alanlar olarak 5 sınıfta toplanmıştır.

Konya ilinin tarımsal etkinliği göz önüne alındığında tarımsal arazilerin tahrip edilmesi ciddi bir ekonomik kayba neden olacaktır. Özellikle verimli toprakların korunması konusunda karayolları yapımı ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Ormanlık alanların tahrip edilmesi ise önemli bir diğer çevresel sorun olduğundan dikkate alınması gereken bir kriter haline gelmektedir. Dağlık alanlar karayolu yapım maliyetini önemli oranda artırarak eğim ve viraj gibi sorunlar meydana getirmektedir. Boş alan olarak nitelendirilen alanlar ise karayolu yapımına topoğrafik ve çevresel olarak en uygun alanlar olmaktadır. Bu nedenle uygunluk sırası olarak boş alanlar, tarımsal alanlar, dağlık alanlar ve ormanlar şeklindedir. Ancak bu noktada üzerinde önemle durulması gereken nokta, karayolu yapımının çevre mi yoksa ekonomik öncelikli mi yapılacağıdır. Bu önem sırası bu sorunun cevabına göre değişiklik gösterecektir. Şekil 3.13'te arazi kullanım haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Arazi kullanımı kriter haritası

Arazi kullanımı verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış verileri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Toplamda 5 sınıf kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Arazi kullanımı veri değerlerinin sınıflandırılması

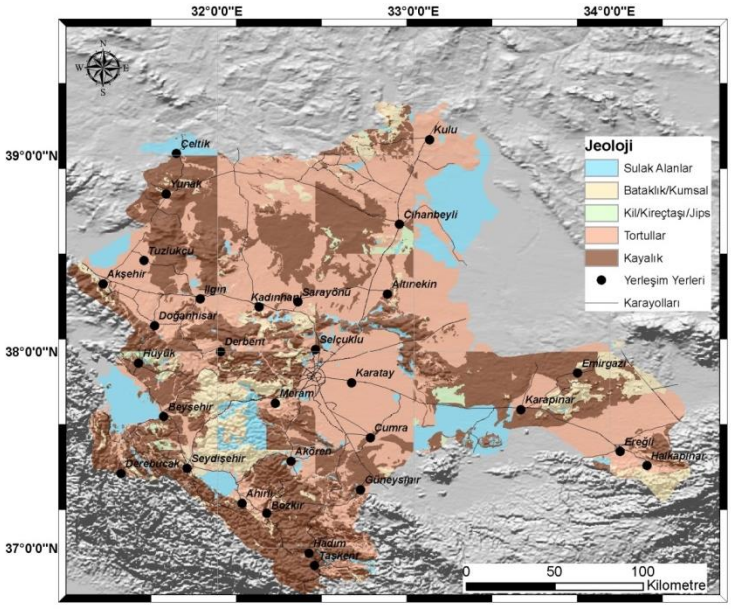
Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**1**
Değer (sınıf)	Boş araziler	Tarımsal	Dağlık	Orman	Su

3.3.3. Jeoloji

Jeoloji kriteri karayolu yapımını maliyet ve uygunluk yönünden etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Jeolojik yapı, karayolu inşaatlarında temel noktayı oluşturmaktadır. Kayalık ve sert zeminler karayolu inşaatı için uygun olmasına karşın maliyeti artıran bir etkendir. Bataklık, kumsal, killi ve kumluk alanlar ise zemin kayması gibi nedenlerden dolayı uygun olmamaktadır. Sulak bölgelerde ve su kaynaklarına yakın yerlerde ise karayolu yapımında su tahliyesi için menfez/büz gibi sanat yapıları gerekliliğinden maliyet artmaktadır.

Konya ili jeolojisi incelendiğinde büyük çoğunluğun kayalık ve tortullardan oluştuğu görülmektedir. Kil, kireçtaşı ve çakıl taşı gibi oluşumlar belirli bölgelerde rastlanılmaktadır. Bataklık ve kumsal gibi alanlar ise sadece su kaynaklarına yakın bölgelerde çok geniş bir yayılım göstermeyen niteliktedir.

Bu çalışmada jeolojik yapı olarak en uygun sıralama kayalık, tortullar, kil, kumsallar ve sulak alanlar şeklinde olmaktadır. Şekil 3.14'te jeoloji haritası verilmektedir.



Şekil 3.14. Jeoloji kriter haritası

Jeoloji verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış değerleri Çizelge 3.6'da verilmektedir. Toplamda 5 sınıf kullanılmıştır.

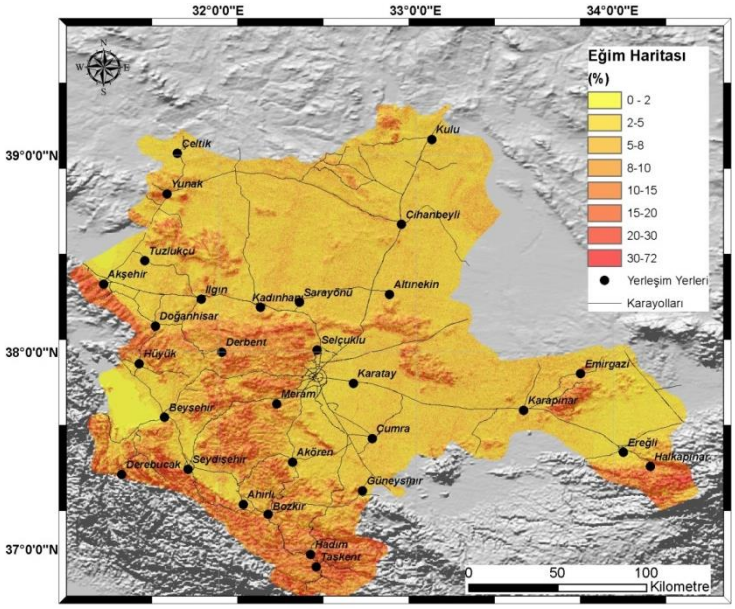
Çizelge 3.6. Jeoloji verisi değerleri sınıflandırılması

Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**1**
Değer (sınıf)	Kayalık	Tortullar	Kil/Kireçtaşı	Bataklık	Su alanları

3.3.4. Eğim

Eğim kriteri karayolu yapım maliyetini artıran en önemli faktörlerden birisidir. Eğim hem kazı ve dolgu olarak hem de istinat duvarı ve menfez gibi yapılması gereken sanat yapıları ile maliyeti artırmaktadır. Mevcut karayollarına bakıldığında en yüksek eğim %12 olarak görülmektedir. Eğim değeri özellikle tonajlı araçlar göz önüne alındığında büyük risk oluşturmaktadır. Ayrıca hava koşullarına göre özellikle kış aylarında eğim değeri önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle karayolu planlanırken ilk olarak eğimin çok yüksek olduğu yerler çalışma dışı bırakılarak güzergâh seçimi yapılmalıdır. Böylece proje aşamasında maliyeti artıracak bölgeler tespit edilmiş olunacaktır. Arazinin el verdiği müddetçe düz ve en az eğime sahip bölgeler karayolu yapımı için en uygun yerler olacağından sınıflandırma da bu şekilde yapılmıştır.

Eğim haritası, ASTER GDEM yükseklik verisine eğim analizi uygulanarak üretilmiştir. ArcGIS 10.1 yazılımı Slope analizi ile yükseklik değişimi yardımıyla eğim değerleri 30 x 30 metre çözünürlükte hesaplanmıştır. Eğim değer incelendiğinde % 0'dan %74'e kadar değişim gösterdiği görülmektedir. Özellikle güney kısımda Toros dağlarının olduğu bölgelerde ve Güneydoğu kısmında Ereğli ilçesi yakınlardaki yükseltiler dışında genel olarak düz bir görünüme ve eğim değerine sahiptir. Şekil 3.15'te eğim verisi haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Eğim kriter haritası

Eğim verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış değerleri Çizelge 3.7'de verilmektedir. Toplam 9 sınıf kullanılmıştır.

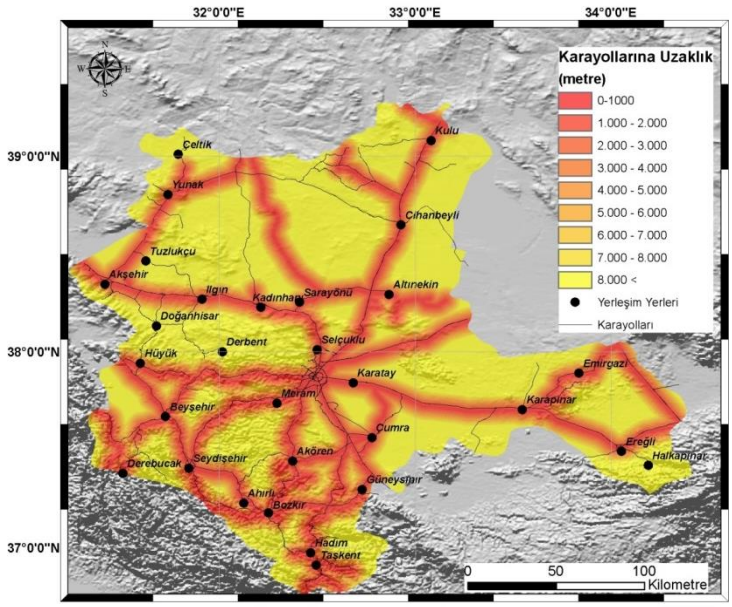
Çizelge 3.7. Eğim verisi değerleri sınıflandırılması

Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Değer (%)	0-2	2-5	5-8	8-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-71

3.3.5. Mevcut karayollarına uzaklık

Mevcut karayollarına uzaklık kriteri, mevcut karayollarından en uzak bölgelerin tespit edilmesi için kullanılmıştır. Böylece karayoluna ihtiyaç olan yerler belirlenerek, mümkün olduğunca homojen dağılımda bir karayolu ağı yapılması hedeflenmektedir. Birbirine çok yakın karayolu yapımı maliyet artıran bir işlem olacağından ihtiyaç bölgelerinin öncelikli olarak hedeflenmesi gerekmektedir.

Mevcut karayollarına uzaklık kriteri için mevcut karayolları haritası ArcGIS 10.1 yazılımında Buffer analizi ile üretilmiştir. En yakın mesafe 1000 metre ve en uzak mesafe 9000 metre ve üzeri şeklinde sınıflandırma yapılarak uzaklık haritası meydana getirilmiştir. Uygunluk olarak ise 9000 metre ve üzeri alanlar en uygun yerler olarak belirlenmiş ve 9 sınıfta temsil edilmiştir. Şekil 3.16'da mevcut karayollarına yapılan Buffer analizi sonucu üretilen yakınlık haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Mevcut karayollarına uzaklık kriter haritası

Karayollarına uzaklık verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış değerleri Çizelge 3.8'de verilmektedir. Toplam 9 sınıf kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. Karayollarına uzaklık verisi değerleri sınıflandırılması

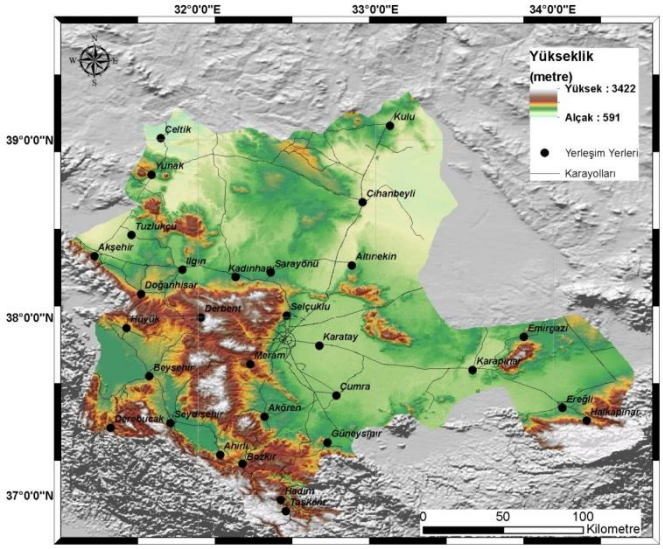
Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Değer (metre)	8000 >	7000-8000	6000-7000	5000-6000	4000-5000	3000-4000	2000-3000	1000-2000	0-1000

3.3.6. Yükseklik

Yükseklik kriteri, eğim kriterine paralel olarak karayolu yapımını etkileyen bir diğer faktördür. Meteorolojik ve iklim şartlarının değişmesine neden olan yükseklik değişimi özellikle karasal iklimde şartların kış aylarında daha da sertleşmesine neden olmaktadır. Konya ili baz alındığında 1300 metre yükseklikten sonra kış aylarında karayollarında yağış ve dondan kaynaklı sorunlar yaşanmaya başlamaktadır. Güney kesimlerde Toros dağları eteklerinde mevcut olan ve 1800 metre üstü yüksekliğe sahip olan bazı karayolları ise kış aylarında kar yağışına bağlı olarak uzun süre kapalı kalabilmektedir. Bu nedenle iklim koşulları göz önüne alınarak karayolu yapımına en uygun yükseklik değeri bölgeye özgü olarak belirlenmelidir.

Yükseklik verisi olarak ASTER GDEM haritası kullanılmıştır. 8 adet ASTER GDEM haritası birleştirilmiş ve Konya il sınırına göre kesilerek yükseklik haritası

oluşturulmuştur. Konya ili 591 ila 3419 metre yükseklik değerine sahiptir. Bu nedenle karayolu yapımında en uygun yükseklik 600 metreden başlayarak en yükseğe doğru göreceli olarak belirlenmiştir. Şekil 3.17'de yükseklik haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Yükseklik verisi kriter haritası

Yükseklik verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış değerleri Çizelge 3.9'da verilmektedir. Toplam 9 sınıf kullanılmıştır.

Çizelge 3.9. Yükseklik verisi değerleri sınıflandırılması

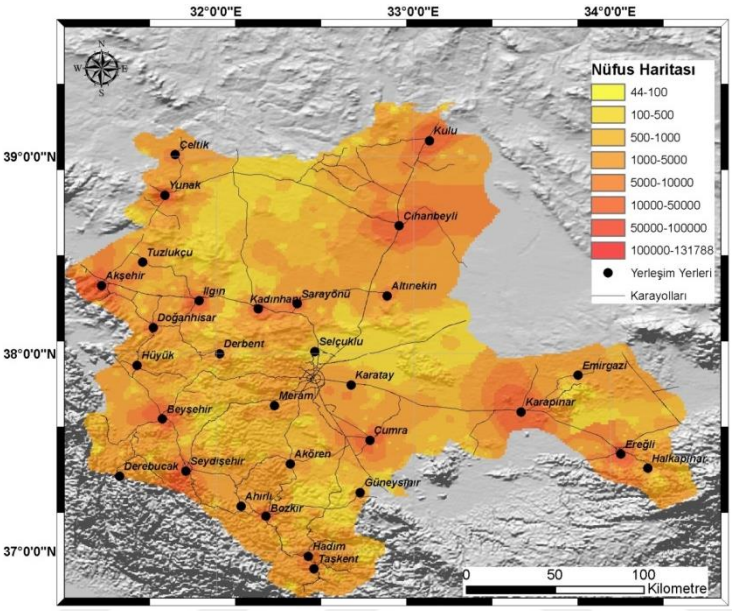
Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Değer (metre)	0-600	600-900	900-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2100	2100-2500	2500-2800	2800 <

3.3.7. Nüfus

Nüfus verisi, yapılacak olan karayolunun geçeceği yerleşim yerlerinde ne kadarlık bir nüfusa hizmet edeceğini belirlemektedir. Her ne kadar yerleşim yerlerinden bir karayolunun geçmesi önemli bir etken olsa da o yerleşimin nüfus yoğunluğu da önem kazanmaktadır. Böylece yapılan yatırımların fayda/zarar eksenindeki getirisi yüksek olacaktır.

Konya ili nüfusuna bakıldığında TUİK verilerine göre 2016 en yüksek nüfus 131788 ile Ereğli ilçesi (merkez ilçeler hariç) görülmektedir. Karayolu güzergâhlarının

şehir merkezinden geçmesi istenilmediğinden, Selçuklu, Meram ve Karatay ilçelerinin nüfusu kullanılmamıştır. Nüfus dağılımı yerleşim verilerine nüfus bilgilerinin girilerek dağılım haritası yapılmasıyla oluşturulmuştur. ArcGIS 10.1 yazılımında yapılan dağılım haritası ile en uygun yerler nüfusun yoğun olduğu yerler şeklinde belirlenerek göreceli olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 3.18'de Konya ili yerleşim nüfus dağılımı ve yoğunluğu görülmektedir.



Şekil 3.18. Nüfus dağılım kriter haritası

Nüfus verisinin 1'den 9'a kadar sınıflandırılmış değerleri Çizelge 3.10'da verilmektedir. Toplam 9 sınıf kullanılmıştır.

Çizelge 3.10. Nüfus verisi değerlerinin sınıflandırılması

Önem Derecesi	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Değer (kişi)	100000 >	50000-100000	25000-50000	10000-25000	5000-10000	1000-5000	500-1000	100-500	0-100

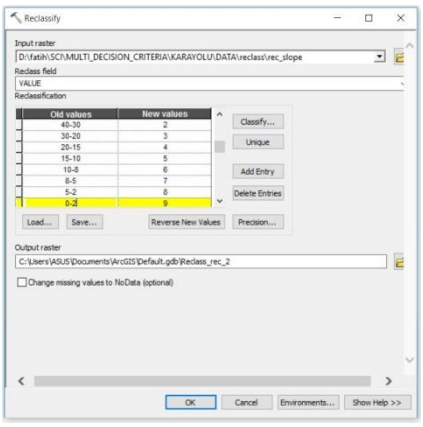
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE UYGULAMA

Uygulama 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk bölümde uygunluk haritası üretiminde kullanılacak kriter haritalarının sınıflandırılması, ikinci kısımda AHY ile karayolu yapımı için en uygun yerlerin bulunması ve üçüncü kısımda ise bulunan uygun yerler içerisinde EAMR yöntemi kullanılarak geçirilecek en uygun güzergâhların tespit edilmesidir.

4.1. Kriterlerin Sınıflandırılması

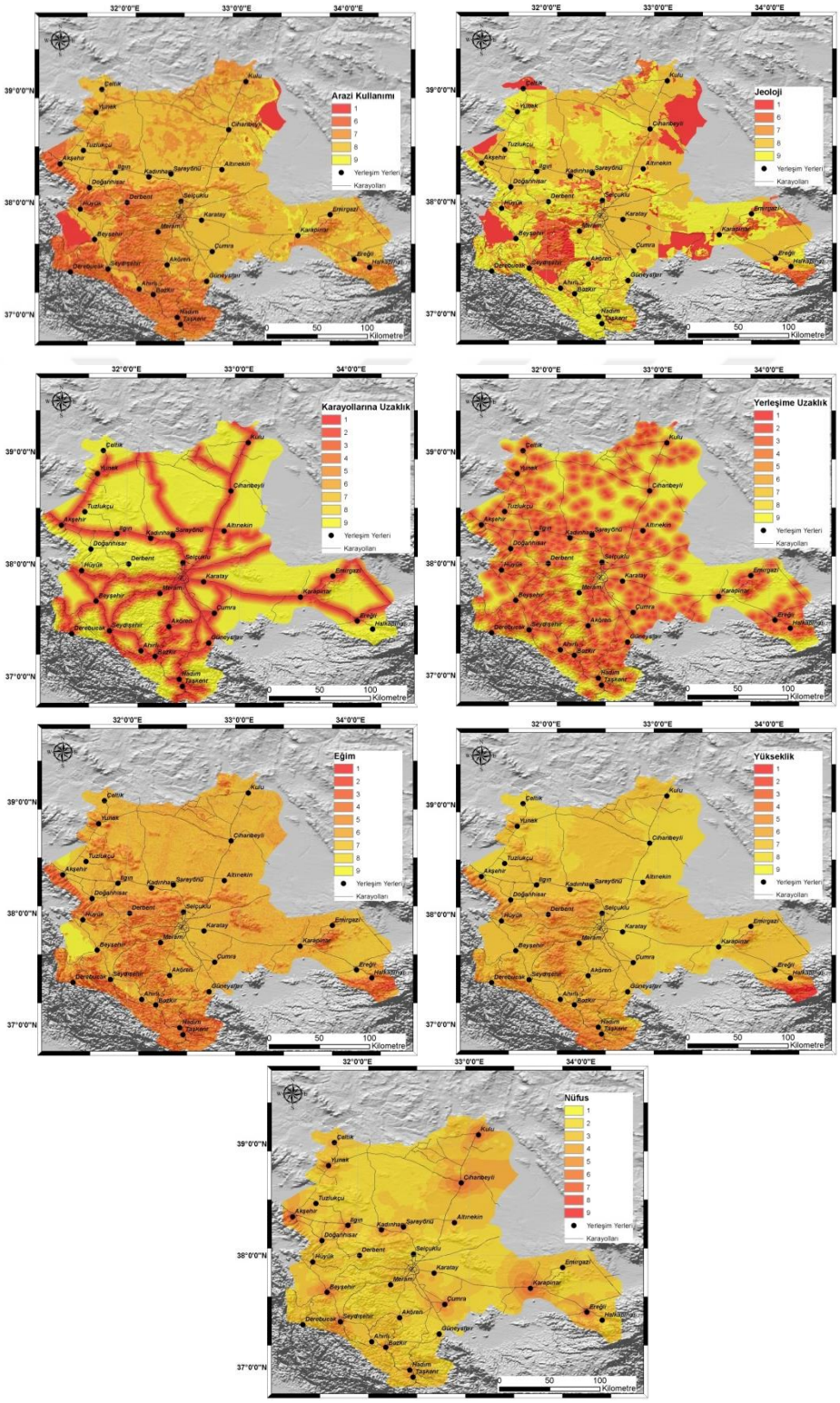
Her bir kriter haritasının önem derecelerine göre 1'den 9'a kadar derecelendirilerek ölçeklendirilmesi gerekmektir. Bir nevi normalleştirme işlemi olan bu derecelendirme ile metre, yüzde, oran ve sınıf gibi birebirinden bağımsız ve birbirlerine dönüştürülemez olan değerlerin aynı ölçek ve derecelendirme skalası içinde bir araya getirilmesi mümkün olmaktadır. Buradaki temel amaç bütün verileri aynı skala cinsine dönüştürerek sonuç uygunluk haritasının oluşturulmasıdır.

Bunun için ArcGIS 10.1 yazılımı Reclassify işlemi kullanılmıştır. Raster verilerde tüm piksellere yeni verilecek olan değeri atamaya yarayan bu işlem sayesinde tüm kriter haritaları önem derecelerine göre 1'den 9'a kadar yeniden sınıflandırılmıştır. Şekil 4.1'de eğim verisi için hazırlanan yeniden sınıflandırma işlemi gösterilmektedir. **Old values (İlk değerler)** olarak adlandırılan kısım raster verinin ilk halindeki değerleri, **New values (Yeni değerler)** ise ilgili sınıflara yeni atanacak olan değerleri göstermektedir. Örneğin eğim değeri % 0 ile 2 arasında olan tüm piksellere bu işlem sonrasında 9 değeri atanacaktır. Böylece eğim değerleri hem önem derecesine göre yeniden sınıflandırılmış, hem de eğim değerleri normalleştirilmiş olmaktadır.



Şekil 4.1. Reclassify menüsü

Her bir kriter için bu işlemin yapılmasının ardından ağırlık hesabı öncesi verilerin sınıflandırılması işlemi tamamlanmış olmaktadır. Her bir kriterin yeniden sınıflandırılmasının ardından oluşan haritalar Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.2. Yeniden sınıflandırılmış kriter haritaları

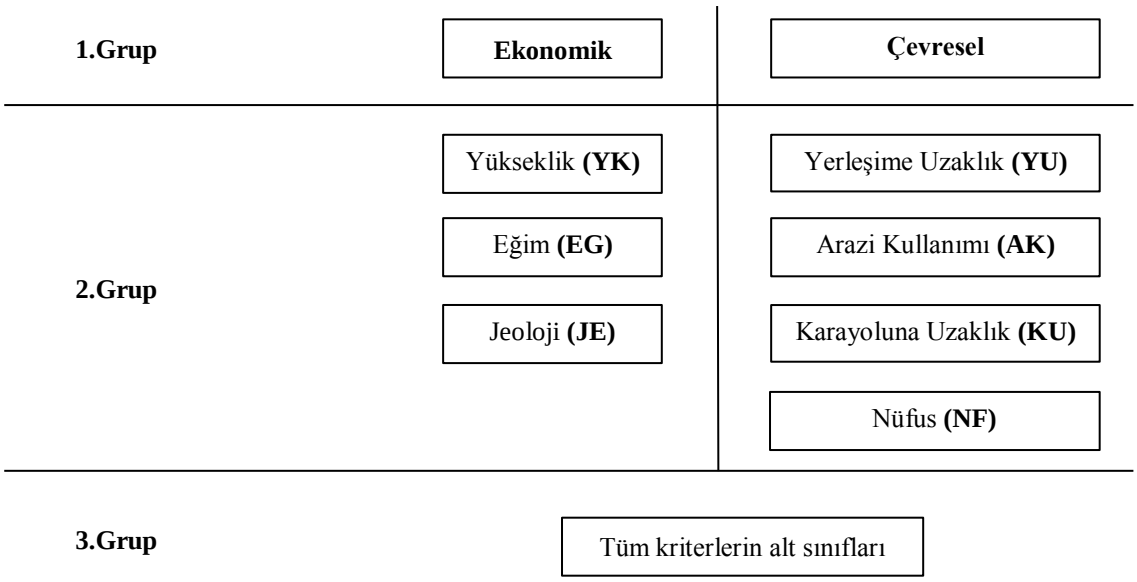
4.2. AHY Kullanılarak En Uygun Karayolu Yapım Yerlerinin Belirlenmesi

Bu bölümde AHY uygunluk haritası oluşturmak için kullanılacak ağırlıkların hesaplanması ve sonucunda uygunluk haritasının bu ağırlıklara göre hesaplanması işlemi yapılacaktır.

4.2.1. AHY ile Ağırlıkların Hesaplanması

AHY yönteminde uygulamaya geçmeden önce hiyerarşilerin ve kriterlerin gruplandırılmasının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada karayollarının hem ekonomik hem de çevre odaklı perspektiften hesaplanabilmesi için Çevresel ve Ekonomik olmak üzere iki ana grup altında kriterlerin gruplandırılması yapılmıştır. Karayolu planlanması sırasıyla belirtilen bu perspektiflerden herhangi birine daha çok önem verilerek karayolunun karakteristik özelliği kolayca değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada ekonomik odaklı karayolu tasarımı yapılmış olup ağırlıklar buna göre verilmiştir.

Uygulama için toplamda 3 adet hiyerarşi kurulmuştur. Bu hiyerarşilerin en üst tabakasında ana gruplar yer alırken en alt tabakada ise kriterlerin oluşturulduğu veri sınıfları yer almaktadır. Şekil 4.3'te kurulan hiyerarşi gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Kurulan hiyerarşinin adımları

Kriter gruplandırmalarına bakıldığında genel olarak kriterlerin ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler içerisinde gruplandığı görülmektedir. Yol maliyetini artırıcı etkisi olan kriterler ekonomik, çevre hassasiyeti, çevre koruma, habitat alanları ve doğanın korunması ile ilgili olan kriterler çevresel, insan ve yaşamsal faaliyetler ile ilgili olan kriterler sosyal kriter grubuna toplanmaktadır. Ancak sosyal kriterler genel olarak hem ekonomik hem de çevresel etkilerinin olduğu göz önüne alındığında ayrıca bir sınıf olarak ayrım yapılmamış ve diğer kriterlerin içerisine dahil edilmiştir.

Yapılacak olan karayolunun çevre mi yoksa ekonomik odaklı mı olacağının belirlenmesi için ilk grupta yer alan kriterlerin karşılaştırma matrisinin düzenlenmesi gerekmektedir. İlk grupta çevresel ve ekonomik olmak üzere iki kriter olduğundan dolayı tutarlılık oranı değeri sıfır çıkmaktadır. Bu çalışmada ekonomik odaklı güzergah hesaplaması yapılacağından Çizelge 4.1'de verilen karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. Birinci seviye hiyerarşi ağırlık hesaplaması

	Çevresel	**Ekonomik**	**Ağırlık**
Çevresel	**1**	0.6666	0.40
Ekonomik		**1**	0.60

Matris hesaplaması sonucu ekonomik kriter grubunun ağırlığı %60, çevresel kriterlerin ağırlığı ise % 40 olarak hesaplanmıştır. Bunun anlamı ise uygunluk haritasının üretilmesinde ekonomik etkenlerin daha ağır basacağı ve karakteristik özelliğin ekonomik kriterlere daha çok benzeyeceğidir. Sonraki adımda ekonomik ve çevresel kriterlerin alt gruplarının ağırlıklarının hesaplanmasıdır. Ekonomik (jeoloji, yükseklik, eğim) ve çevresel (arazi kullanımı, nüfus, karayollarına uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık) verileri ayrı ayrı karşılaştırma matrisleri ile ağırlıklarının belirlenmesi gerçekleştirilecektir.

Ekonomik kriterlerin kendi aralarındaki hiyerarşinin kurulmasında en önemli etken, hangi kriterin karayolu yapım maliyetini en fazla etkilediğidir. Eğim, yükseklik ve jeoloji kriterleri incelendiğinde karayolu yapımını hem yavaşlatan hem de sanat yapıları gerekliliğinden maliyet artıran kriter eğimdir. Jeoloji ve yükseklik ise belirli oranda eğime bağlı olduğundan ve eğimli yerlerde yapılan kazı/dolgu işlemleri gibi sonradan çok müdahale edilemeyeceğinden, en önemli kriter eğim olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.2'de karşılaştırma matrisi gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Ekonomik kriterler karşılaştırma matrisi

	EG	**YK**	**JE**
EG	**1**	2	2
YK		**1**	1.1
JE			**1**

Ekonomik kriterleri ağırlıkların hesaplanmasında oluşturulan normalleştirilmiş matris aşağıda verilmektedir. Normalleştirilmiş matriste her satır toplamının matris boyutuna bölünmesi ile ağırlıklar hesaplanmaktadır. Çizelge 4.3'te ekonomik matrisin normalleştirilmiş hali görülmektedir.

Çizelge 4.3. Birinci seviye hiyerarşi ağırlık hesaplaması

	EG	**YK**	**JE**	**Ağırlık**
EG	0,50	0,511628	0,487805	0.49981
YK	0,25	0,255814	0,268293	0.25804
JE	0,25	0,232558	0,243902	0.24215

Ağırlıkların tutarlı olup olmadığının anlaşılması için öz değer ve öz vektör değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için ağırlıkların karşılaştırma matrisi ile çarpılması gerekmektedir. Sonuç matris çarpımı Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. Öz değer matrisi

	D
EG	1,5001
YK	0,7743
JE	0,7266

Son olarak ise bulunan bu matrisin ağırlıklar ile çarpılması ile λ_{max} değerinin bulunması gerekmektedir. Bu matrisin toplamının matrise bölünmesi ile λ_{max} değeri bulunmuş olmaktadır. Çizelge 4.5'te ağırlıklar ile çarpılmış matris değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.5. Ağırlıklar ile çarpılmış öz değer matrisi

	D
EG	3,001513
YK	3,000788
JE	3,000728

Tutarlılık değeri için bulunan sonuçlar ise;

λ_{max} = 3,001009
Tutarlılık İndeksi= 0,00050473
Tutarlılık oranı = 0,000971

olup T_o değeri 0.0009 çıkmıştır. Bu değer incelendiğinde verilen ağırlıkların tutarlı olduğu görülmektedir.

Çevresel etmenler göz önüne alındığında ormanların ve tarımsal arazilerin yok edilmemesi, habitat alanlarının korunması gibi hassasiyetler için arazi kullanımı verisi ön plana çıkmaktadır. Nüfus ise yapılacak karayolunun tam anlamıyla kullanılabilmesi ve ihtiyaçlara cevap verebilmesi için önemli olan bir diğer kriter olduğundan dolayı ağırlıklarının diğerlerine oranla daha fazla olması gerekmektedir. Karşılaştırma matrisi T_o değeri 0.049 olmakla birlikte en çok ağırlığı % 40 ile arazi kullanımı kriter almıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Çevresel kriterler karşılaştırma matrisi

	AK	**NF**	**YU**	**KU**
AK	**1**	2.5	2.2	1.6
NF		**1**	1.2	2.2
YU			**1**	1.4
KU				**1**

Ekonomik kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında oluşturulan normalleştirilmiş matris aşağıda verilmektedir. Normalleştirilmiş matriste her satır toplamının matris boyutuna bölünmesi ile ağırlıklar hesaplanmaktadır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Birinci seviye hiyerarşi ağırlık hesaplaması

	AK	**NF**	**YU**	**KU**	**Ağırlık**
AK	0,40724	0,535714	0,352941	0,310345	0.40156
NF	0,162896	0,214286	0,352941	0,258621	0.24719
YU	0,20362	0,107143	0,176471	0,258621	0.18646
KU	0,226244	0,142857	0,117647	0,172414	0.16479

Ağırlıkların tutarlı olup olmadığının anlaşılması için öz değer ve öz vektör değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için ağırlıkların karşılaştırma matrisi ile çarpılması gerekmektedir. Sonuç matris çarpımı Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Öz değer matrisi

	D
AK	1,689075
NF	1,027923
YU	0,758022
KU	0,676979

Son olarak ise bulunan bu matrisin ağırlıklar ile çarpılması ile λ_{max} değerinin bulunması gerekmektedir. Bu matrisin toplamının matrise bölünmesi ile λ_{max} değeri bulunmuş olmaktadır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Ağırlıklar ile çarpılmış öz değer matrisi

	D
AK	4,206282
NF	4,158501
YU	4,065258
KU	4,108117

Tutarlılık değeri için bulunan sonuçlar ise;

λ_{max} = 4,13453982
Tutarlılık İndeksi = 0,044846607
Tutarlılık oranı = 0,049829563

olup T_o değeri 0,049 çıkmıştır. Bu değer incelendiğinde, bu değerin 0.1'i geçmediğinden verilen ağırlıkların tutarlı olduğu görülmektedir.

Son olarak ikinci grupta bulunan tüm kriterlerin alt sınıflarının ağırlıklarının belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu noktada her bir kriter için belirlenen sınıf değerlerinin önem sıralaması yapılmış olup, daha önce belirlenen sınıf değerlerine göre

ağırlıkların hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Sırası ile tüm kriterlerin 3.grup ağırlık hesaplaması için oluşturulan karşılaştırma matrisleri aşağıda verilmiştir.

Eğim kriteri için en çok ağırlığı alması gereken sınıf değeri, en düz olan arazilerin sınıflandırıldığı % 0-2 sınıfıdır. Eğimin maliyet artırıcı etkisinden dolayı eğim değeri artıkça ağırlığın azalması gerekmektedir. T_o değeri 0.091 olarak hesaplandığından ağırlıklar tutarlıdır. Çizelge 4.10'da eğim kriteri karşılaştırma matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.10. Eğim sınıflandırması karşılaştırma matrisi

EG	0	2	5	8	10	15	25	30	71	Ağırlık
0	**1**	2	2,2	2,5	4	5	7	8	9	0,25879
2		**1**	2	3	4	6	7	8	9	0,22434
5			**1**	2	3	5	6	7	9	0,16497
8				**1**	2	4	5	7	9	0,12404
10					**1**	2	6	7	8	0,09303
15						**1**	2	6	7	0,05877
25							**1**	2	6	0,03566
30								**1**	5	0,02535
71									**1**	0,01505

Yükseklik kriteri maliyeti artıran, yol yapımını zorlaştıran ve meteorolojik koşullar nedeniyle olumsuz etkileyen bir kriter olduğundan dolayı yol yapımı için mümkün olduğunca kot değeri düşük olan yerlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle verilen ağırlıkların en düşük kottan en yüksek kota doğru azalması gerekmektedir. En büyük ağırlığı %30 ile 600-900 metre arası yükseklik sınıfı almaktadır. T_o değeri 0.039 olup tüm ağırlıklar tutarlıdır. Çizelge 4.11'de yükseklik kriteri karşılaştırma matrisi görülmektedir.

Çizelge 4.11. Yükseklik sınıflandırması karşılaştırma matrisi

YK	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000	Ağırlık
600	**1**	2	3	4	5	6	7	8	9	0,30667
900		**1**	2	3	4	5	6	7	8	0,21799
1200			**1**	2	3	4	5	6	7	0,15418
1500				**1**	2	3	4	5	6	0,10881
1800					**1**	2	3	4	5	0,07641
2100						**1**	2	3	4	0,05329
2400							**1**	2	3	0,03701
2700								**1**	2	0,02593
3000									**1**	0,01971

Jeoloji kriteri yapılan yolun sağlamlığını belirleyen ve ek olarak maliyet artırıcı bir etkisi olduğundan dolayı mümkün olduğunca diğer kriterlere oranla daha fazla ağırlığa sahip olmalıdır. Bu nedenle en büyük ağırlığı % 45 ile kayalık alanları kapsayan sınıfa verilmiştir. T_o değeri 0.054 olarak hesaplandığından ağırlıklar tutarlıdır. Çizelge 4.12'de jeoloji kriteri için hazırlanan karşılaştırma matrisi gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Jeoloji sınıflandırması karşılaştırma matrisi

JE	Sulak	Kumsal	Killi	Tortullar	Kayalık	Ağırlık
Sulak	**1**	0,2	0,15	0,15	0,1	0,03077
Kumsal		**1**	0,6	0,5	0,4	0,13252
Killi			**1**	0,5	0,4	0,17478
Tortullar				**1**	0,2	0,21077
Kayalık					**1**	0,45115

Ekonomik kriterler için hazırlanan tüm ağırlık hesapları toplu olarak Çizelge 4.13'de verilmiştir. Ağırlık 1 olarak adlandırılan sütun hiyerarşinin en üst kısmındaki ağırlığı, Ağırlık 2 sütunu 2. Seviye hiyerarşide bulunan kriter ağırlıklarını, Ağırlık 3 sütunu en alt seviyedeki yani 3. Grup hiyerarşideki kriter sınıf ağırlıklarını temsil etmektedir. Etki ağırlığı ise en son oluşturulacak olan uygunluk haritasında her bir sınıfın etki ağırlığını göstermektedir. Ekonomik ve çevresel tüm kriter sınıflarının hesaplanmasının ardından etki ağırlığı sütun toplamı 1'e eşit olmalıdır. Etki ağırlığı sütunu incelendiğinde, en büyük ağırlığın %7.7 ile eğimsiz arazilerde olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle oluşturtulacak olan karayolu uygunluk haritasının 10'da birini bu sınıf şekillendirecektir. Diğer önemli etken ise jeoloji kriterindeki

kayalık sınıfı % 6.5 değeri ile uygunluk haritasını etkileyecek bir diğer sınıf olmaktadır. Çizelge 4.13'te ekonomik kriter ağırlıkları verilmektedir.

Çizelge 4.13. Ekonomik kriter ağırlık hesaplamaları

1. Grup	Ağırlık$_1$	2.Grup	Ağırlık$_2$	T$_o$	3.Grup	Ağırlık$_3$	T$_o$	Etki Ağırlığı
Ekonomik	0.60	**EG (%)**	0.49981	0.0009	**< 0**	0.25879	0.0907	0.07760750
					0-2	0.22434		0.06727643
					2-5	0.16497		0.04947219
					5-8	0.12404		0.03719786
					8-10	0.09303		0.02789839
					10-15	0.05877		0.01762430
					15-25	0.03566		0.01069393
					25-30	0.02535		0.00760211
					30-70	0.01505		0.00451328
					Toplam	**1.0000**		
		YK (m)	0.25804		**< 591**	0.30667	0.0399	0.04747988
					591-1000	0.21799		0.03375008
					1000-1300	0.15418		0.02387076
					1300-1600	0.10881		0.01684640
					1600-1900	0.07641		0.01183010
					1900-2100	0.05329		0.00825057
					2100-2400	0.03701		0.00573004
					2400-2700	0.02593		0.00401459
					2700-3419	0.01971		0.00305158
					Toplam	**1.0000**		
		JE	0.24215		**Kayalık**	0.45115	0.054	0.06554758
					Tortul	0.21077		0.03062277
					Kil	0.17478		0.02539379
					Kumsal	0.13252		0.01925383
					Sulak	0.03077		0.00447057
					Toplam	**1.0000**		

Çevresel kriterlerin ağırlık hesapları ise aşağıda sıralanmıştır. Arazi kullanımı kriteri bünyesinde, çevresel duyarlılık kapsamında ormanların ve tarım arazilerinin korunması için ilk olarak çıplak arazilerin tercih edilmesi uygun olduğundan % 53 ağırlığı hesaplanmıştır. Sulak alanlara karayolu yapılamayacağından ağırlığı hemen hemen yok sayılabilecek bir değer çıkmıştır. Çizelge 4.14'te arazi kullanımı kriteri için yapılan ağırlık hesabı gösterilmektedir. T$_o$ değeri 0.094 olarak hesaplanmış ve ağırlıklar tutarlı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.14. Arazi kullanımı sınıflandırması karşılaştırma matrisi

AK	Su	Orman	Dağlık	Tarım	Çıplak Arazi	Ağırlık
Su	**1**	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00429
Orman		**1**	0,5	0,4	0,3	0,10287
Dağlık			**1**	0,5	0,4	0,16268
Tarım				**1**	0,1	0,19828
Çıplak Arazi					**1**	0,53187

Nüfus verisi çevresel etmenlerden olan ve yapılacak olan karayolunun en yüksek nüfusa sahip yerleşim yerlerinden geçmesi için kullanılan bir kriterdir. Bu nedenle nüfusu en çok olan bölgelerin ağırlığının en fazla olması gerekmektedir. 125000 ve üzeri nüfusa sahip olan bölgeler için % 46 ağırlık değeri hesaplanmıştır. T_o değeri 0.055 olarak hesaplandığından ağırlıklar tutarlı olarak kabul edilmiştir. Çizelge 4.15'te nüfus kriteri sınıfları için karşılaştırma matrisi verilmektedir.

Çizelge 4.15. Nüfus sınıflandırması karşılaştırma matrisi

NF	100	1000	5000	10000	25000	50000	75000	100000	125000	Ağırlık
100	**1**	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,03140
1000		**1**	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,03042
5000			**1**	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,03188
10000				**1**	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,03994
25000					**1**	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05181
50000						**1**	0,3	0,2	0,1	0,07029
75000							**1**	0,2	0,1	0,10491
100000								**1**	0,1	0,17639
125000									**1**	0,46295

Yerleşim yerlerine olan uzaklık kriteri, yapılacak olan karayolunun nüfus verisi ile paralel olarak mümkün olduğunca yerleşim yerlerine yakın geçmesini sağlamak için kullanılmıştır. En yakın mesafe 1000 metre olarak kabul ediğinden bu sınıfın ağırlığının en yüksek değerde belirlenmesi gerekmektedir. 1000 metre uzaklık %26 ile ağırlıklandırılmış olup, 0.063 T_o değeri ile bu hesaplama tutarlı olarak kabul edilmiştir. Uzaklık değerleri karayolu inşaatı için olmazsa olmaz bir kriter olmadığından genel olarak ağırlık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Çizelge 4.16'da yerleşim yerlerine yakınlık kriteri için hazırlanan karşılaştırma matrisi gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. Yerleşime yerlerine uzaklık sınıflandırması karşılaştırma matrisi

YU	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	Ağırlık
1000	**1**	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	0,26094
2000		**1**	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	0,19670
3000			**1**	2	2,5	3	3,5	4	4,5	0,14893
4000				**1**	2	2,5	3	3,5	4	0,11287
5000					**1**	2	2,5	3	3,5	0,08533
6000						**1**	2	3	4	0,06941
7000							**1**	3	4	0,05701
8000								**1**	4	0,04224
9000									**1**	0,02657

Karayollarına uzaklık kriteri, yapılacak olan karayolunun mümkün olduğunca mevcut karayollarından uzakta yer almasını sağlamak için kullanılmıştır. Bu yüzden yerleşim yerlerine uzaklıkta olduğunun tersine, 9000 metre üzeri uzaklıklar en yüksek ağırlığı almak durumundadır. Böylece yol olmayan bölgelerin yapılacak olan karayolundan daha çok faydalanması sağlanmış olacaktır. T_o değeri 0.080 olarak hesaplandığından ağırlıklar tutarlı olarak kabul edilmektedir. Çizelge 4.17'de karayolundan uzaklık kriteri için hazırlanan karşılaştırma matrisi gösterilmektedir.

Çizelge 4.17. Karayollarına uzaklık sınıflandırması karşılaştırma matrisi

KU	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	Ağırlık
1000	**1**	2,5	3	3,5	4	4,5	7	8	9	0,29756
2000		**1**	1,3	2	2,5	3	7	8	9	0,17794
3000			**1**	1,5	2	2,5	7	8	9	0,15240
4000				**1**	1,5	2	6	7	9	0,12097
5000					**1**	1,5	5	6	8	0,09593
6000						**1**	3	5	8	0,07500
7000							**1**	4	6	0,03948
8000								**1**	5	0,02593
9000									**1**	0,01480

Çevresel kriterler için hazırlanan tüm ağırlık hesapları toplu olarak tabloda verilmiştir. Ağırlık 1 olarak adlandırılan sütun hiyerarşinin en üst kısmındaki ağırlığı, $Ağırlık_2$ sütunu 2. Seviye hiyerarşide bulunan kriter ağırlıklarını, $Ağırlık_3$ sütunu en alt seviyedeki yani 3. Grup hiyerarşideki kriter sınıf ağırlıklarını temsil etmektedir. Etki

ağırlığı ise en son oluşturulacak olan uygunluk haritasında her bir sınıfın etki ağırlığını göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sınıfların etki ağırlıkları ile toplam uygunluk değerine ne kadar etki ettiğinin görülmesidir. Örneğin çıplak araziler toplamda % 8,5 gibi bir etki yaparken yerleşim yerlerine olan 1000 metre uzaklık % 2 gibi bir etki göstermektedir. Çizelge 4.18'de göre etki değerleri değerlendirilmeli, söz konusu ağırlıkların uygun olmaması halinde karşılaştırma matrisleri tekrarlanmalıdır.

Çizelge 4.18. Çevresel kriterler ağırlık hesaplaması

1.Grup	Ağırlık$_1$	2.Grup	Ağırlık$_2$	T$_o$	3.Grup	Ağırlık$_3$	T$_o$	Etki Ağırlığı
Çevresel	0.40	**AK**	0.40156	0.0498	**Çıplak arazi**	0.53187	0.0934	0.08543109
					Tarım	0.19828		0.03184853
					Dağlık	0.16268		0.02613031
					Orman	0.10287		0.01652339
					Su kaynakları	0.00429		0.00068908
					Toplam	**1.0000**		
		NF	0.24719		**< 100**	0.0314	0.0556	0.00310471
					100-1000	0.03042		0.00300781
					1000-5000	0.03188		0.00315217
					5000-10000	0.03994		0.00394911
					10000-25000	0.05181		0.00512277
					25000-50000	0.07029		0.00694999
					50000-75000	0.10491		0.01037308
					75000-100000	0.17639		0.01744074
					100000-131788	0.46295		0.04577464
					Toplam	**1.0000**		
		YU	0.18646		**<1000**	0.26094	0.0633	0.01946195
					1000-2000	0.1967		0.01467067
					2000-3000	0.14893		0.01110780
					3000-4000	0.11287		0.00841830
					4000-5000	0.08533		0.00636425
					5000-6000	0.06941		0.00517688
					6000-7000	0.05701		0.00425203
					7000-8000	0.04224		0.00315043
					8000 <	0.02657		0.00198170
					Toplam	**1.0000**		
		KU	0.16479		**8000-9000**	0.29756	0.0804	0.01961396
					8000-7000	0.17794		0.01172909
					7000-6000	0.1524		0.01004560
					6000-5000	0.12097		0.00797386
					5000-4000	0.09593		0.00632332
					4000-3000	0.075		0.00494370
					3000-2000	0.03948		0.00260236
					2000-1000	0.02593		0.00170920
					< 1000	0.0148		0.00097556
					Toplam	**1.0000**		

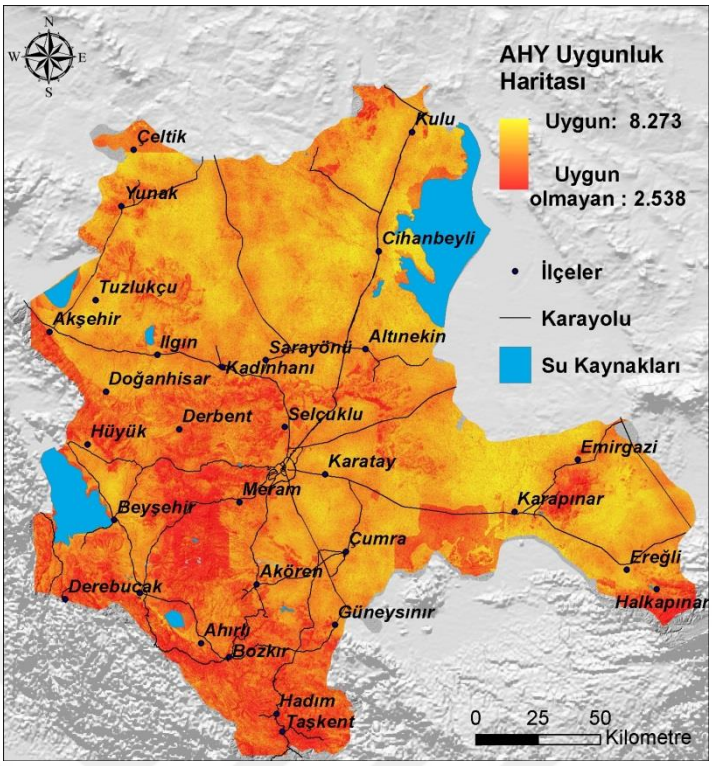
4.2.2. Uygunluk Haritasının Üretilmesi

Tüm ağırlıkların hesaplanmasının ardından tüm kriter haritaların bu ağırlıklara göre işleme sokularak sonuç ürün haritasının bulunması gerçekleştirilmiştir. Her bir kriter kendi içerisindeki sınıflar ve belirlenen ağırlıkları oranında hesaplamaya dahil olarak sonuç uygunluk haritasını oluşturacaktır. Temel olarak tüm kriterler 1'den 9'a kadar önem derecesine göre sıralandığından sonuç harita da aynı şekilde 1'den 9'a kadar değerler alması gerekmektedir. Çıktı uygunluk haritasında piksel değerleri 9'a yaklaştıkça uygunluk değeri de maksimuma yaklaşacaktır.

Sonuç karayolu uygunluk haritası için tüm kriterler aşağıdaki verilen toplam etki ağırlıkları ile çarpılarak toplanmıştır. Sonuç uygunluk haritası;

Uygunluk Değeri = [(0.30 X EG) + (0.1548 x YK) + (0.145 x JE) + (0.1606 x AK) + (0.0988 x NF) + (0.074 x YU) + (0.0658 x KU)]

formülü ile hesaplanmıştır. Uygunluk değeri her bir raster verinin her bir pikseli için yapılmış olup, çıktı uygunluk haritasına denk gelen piksellere sonuç değerler yazılarak uygunluk haritası üretilmiştir. Şekil 4.4'de Konya ili karayolu uygunluk haritası gösterilmektedir. Oluşturulan haritada en uygun yer maksimum 8.27 en uygun olmayan yerler ise minimum 2.53 değerini aldığı görülmektedir. Ayrıca haritada yeşil olarak gösterilen bölgeler karayolu yapımına uygun olan, kırmızı yerler ise uygun olmayan bölgeleri temsil etmektedir. Oluşturulan uygunluk haritası incelendiğinde karayolu yapımına en uygun bölgeler Konya ili doğu ve kuzey yönlerinde odaklandığı görülmektedir. Özellikle güneybatı yönüne bakıldığında arazi engebesi nedeniyle çoğu bölgenin uygun olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.4. Oluşturulan karayolu uygunluk haritası

Sonuç harita incelendiğinde, çalışma alanının % 43.01'lik bölümü en düşük uygunluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu bölgeler genel olarak su kaynaklarının kapsadığı alanlar, eğimin çok yüksek olduğu dağlık alanlar, yükseklik değerinin 2500 metrenin üzerinde olduğu bölgeler, yerleşim alanlarından uzak ve nüfus yoğunluğu düşük bölgelerin olduğu görülmektedir. Çalışma alanının % 31'i orta derecede uygun olarak hesaplanmıştır. Karayolu yapımına birebir uygun olmayan ancak bazı kriterlerdeki uygunluk nedeniyle orta derecede uygun çıkan bölgeler genel olarak uygun olmayan bölgeleri çevreleyen bir dış sınır görünümündedir. Bu çalışma kapsamında bu bölgeler dikkate alınmamıştır. Asıl önemli olan ve karayolu yapımına en uygun olarak nitelendirilen, hemen hemen bütün kriterlerde uygun alanların çakışmasıyla oluşan %14.73'lük alan değeri karayolu yapımına en uygun bölgeler olarak nitelendirilmektedir. Bu bölgeler incelendiğinde, mevcut karayollarından uzak, eğimi oldukça az olan, jeolojik olarak uygun, arazi yönünden çıplak arazileri kapsayan, nüfus yoğunluğu yüksek olan yükseklik olarak oldukça düşük kotlara sahip bölgeler olduğu görülmektedir. Kesin bir ayrım yapılacak olur ise, toplam çalışma alanının % 14.73' ü uygun, % 85.27'si ise karayolu yapımına uygun olmayan bölge olarak sınıflandırılabilir.

Ağırlıklara tekrar dönülecek olur ise, % 0 eğim değeri 0.077, çıplak araziler % 0.085, karayollarından 9000 metre ve üzeri uzaklıkta olan bölgeler 0.047, yükseklik

değeri 600-900 metre olan bölgeler 0.047 ve son olarak nüfus yoğunluğu yüksek olan yerlerin 0.045 ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yaklaşık uygunluğun %30'u bu sınıflar tarafından oluşturulmuş olmaktadır.

Karayolu yapımına uygun olan bölgelere bakıldığında toplamda 3 adet başlıca bölge tespit edilmiştir. Yunak, Akşehir ve Kadınhanı üçgeninde kalan bölge, Kadınhanı, Altınekin ve Kulu arası, son olarak ise Karapınar ve Altınekin ilçeleri arasındaki bölgeler karayoluna uygun ve karayolu yapımına ihtiyaç duyan bölgeler olarak hesaplanmıştır. EAMR ile bu bölgeler için güzergâh hesaplanması bir sonraki bölümde yapılacaktır.

4.3. EAMR ile En Uygun Güzergâhların Belirlenmesi

EAMR ile en uygun güzergâhların bulunması amacı ile öncelikli olarak maliyet yüzeylerinin hesaplanması gerekmektedir. Her ne kadar AHY yöntemine göre ekonomik odaklı uygunluk haritası oluşturulmuş olsa da bu bölümde ekonomik, çevresel ve ikisinin karışımı olan hibrid maliyet yüzeyi oluşturularak belirlenen her bir bölge için 3 farklı güzergâh hesaplaması yapılacaktır.

4.3.1. Maliyet Yüzeylerinin Hesaplanması

EAMR hedef olarak bir hücreden diğerine gitmek için her bir hücreye maliyet değer atamaktadır. Bu maliyet parametresi tek bir kriter olabilmesinin yanında birden fazla kriterin birleşimi şeklinde de olabilmektedir. Belirlenen kriterlerin önceliklerine göre güzergâh tayini yapmak için ağırlıkları belirlenmiş ve sonuç haritası üretilmiş bir maliyet yüzeyine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu maliyet yüzeyi AHY ile üretilmiş bir uygunluk haritası ya da tek bir kriterden oluşan bir yüzey olabilmektedir. Bu çalışmada 3 farklı maliyet yüzeyinin oluşturulmasının nedeni farklı yaklaşımlar sonucu oluşacak güzergâhların incelenmesi ve hassasiyetlerin bu algoritmalara ne kadar yansıtılabildiğinin ortaya çıkartılmasıdır. Örneğin, çevresel odaklı maliyet yüzeyinde oluşacak olan güzergâhların ormanlardan geçmemesi gerekmektedir. Ekonomik odaklı maliyet yüzeyinde ise maliyeti artırmamak için EAMR güzergâhlarının eğimli ve yükseltili yerlerden geçmemesi beklenmektedir. Ayrıca bu çalışmada her iki yüzeyin birleşimi ile oluşturulacak ve AHY ile üretilmiş hibrid bir maliyet yüzeyin güzergâh

hesaplaması yapılacaktır. Oluşturulacak her bir maliyet yüzeyi için belirlenen kriterler ve ağırlıklar ise aşağıda verilmiştir. Ağırlıklar, Çizelge 4.17 ve 4.18'den alınmıştır.

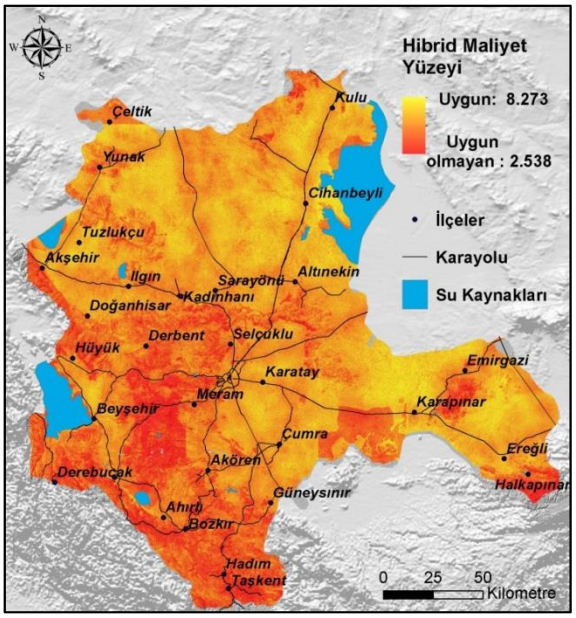
Ekonomik maliyet yüzeyi = [(0.49981 X EG) + (0.25804 x YK) + (0.24215 x JE)]

Çevresel maliyet yüzeyi = [(0.40156 x AK) + (0.24719 x NF) + (0.18646 x YU) + (0.16479 x KU)]

AHY maliyet yüzeyi = [(0.30 X EG) + (0.1548 x YK) + (0.145 x JE) + (0.1606 x AK) + (0.0988 x NF) + (0.074 x YU) + (0.0658 x KU)]

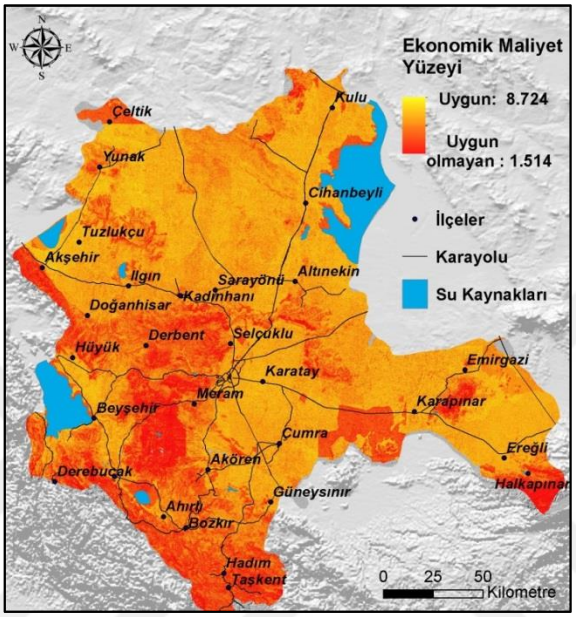
Yukarıda verilen ağırlıklara göre ArcGIS 10.1 yazılımında oluşturulan maliyet yüzeyleri Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Maliyet yüzeyleri incelendiğinde ekonomik ve hibrid yüzeylerin birbirine yakın olduğu, çevresel maliyet yüzeyinin diğerlerine göre farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle oluşturulacak olan güzergâhlarda çevresel odaklı güzergâhların diğerlerinden farklı olacağı öngörülmektedir.

Hibrid maliyet yüzeyi birebir ağırlıklar değiştirilmediği için AHY ile bulunan uygunluk haritasının aynısı olacaktır. Tüm kriterlerin dâhil olduğu yüzey ağırlıklar değiştirilmediği sürece %60 ekonomik ve %40 çevresel etki üzerine hesaplanmıştır. Oluşturulacak olan güzergahlar incelenirken bu kriter göz önüne alınmalıdır. Şekil 4.5'te oluşturulan hibrid maliyet yüzeyi görülmektedir.



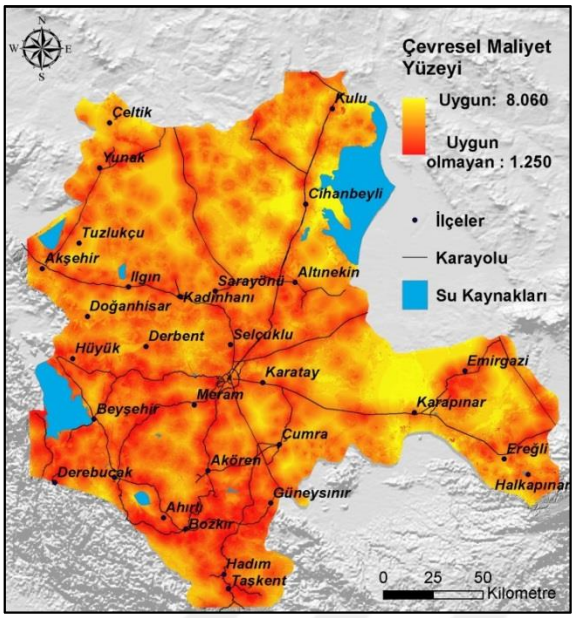
Şekil 4.5. Hibrid maliyet yüzeyi

Ekonomik maliyet yüzeyi incelendiğinde uygun alanları hibrid yüzeye göre daha az olduğu gözlemlenmektedir. Diğer yüzeylere göre daha katı bir kriter seçimi olan bu yüzeyde belirli bölgelerde uygun alanların varlığı görülebilmektedir. Şekil 4.6'da ekonomik maliyet yüzeyi gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Ekonomik maliyet yüzeyi

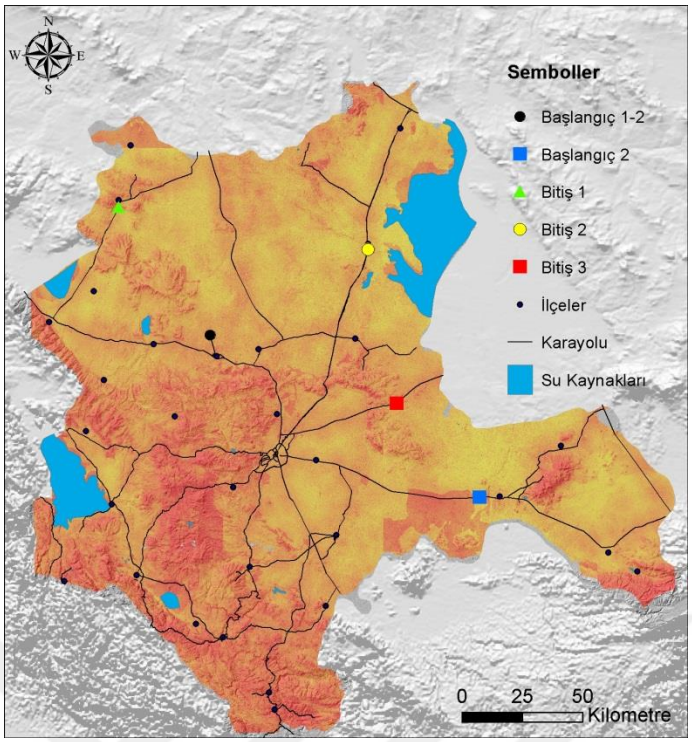
Çevresel maliyet yüzeyi incelendiğinde uygun noktaların birbirinden bağımsız olarak oluştuğu görülmektedir. Hibrid ve ekonomik yüzeylerdeki kümelenmenin aksine bağımsız gruplar halinde uygun bölgelerin oluştuğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.7'de çevresel maliyet yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4.7. Çevresel maliyet yüzeyi

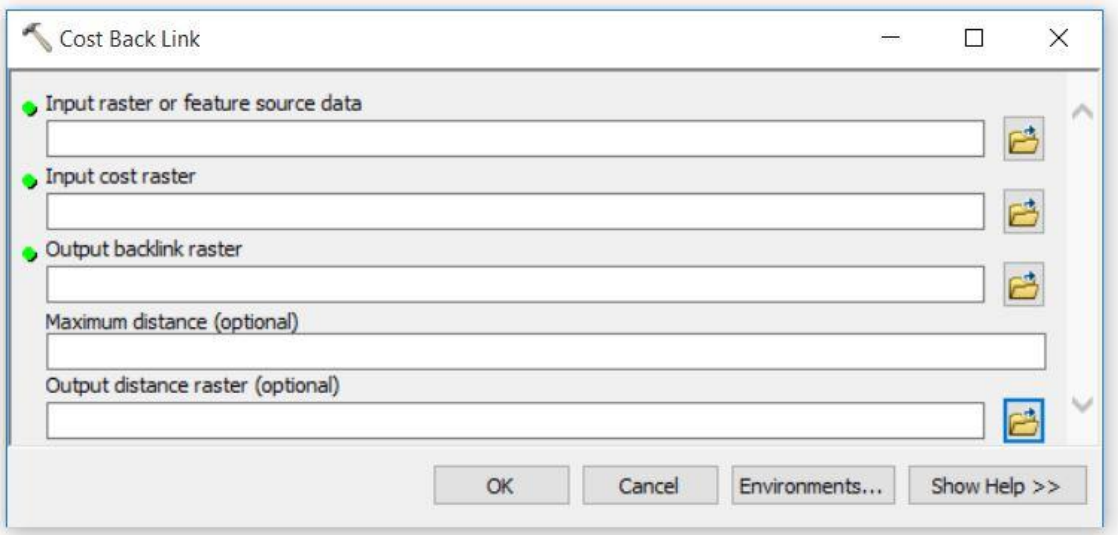
4.3.2. EAMR Yönlendirme Yüzeyinin Oluşturulması

Yönlendirme yüzeyleri maliyet yüzeylerine göre güzergâh hesaplanırken her bir pikselin başlangıç ve bitiş noktasına göre yönlerini tayin etmektedir. Maliyet yüzeyi her ne kadar güzergâh hesaplaması için uygun yerleri belirtiyor olsa da güzergâhın yönlendirilmesi için yönlendirme verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler oluşturulurken bir başlangıç noktası ve bir bitiş noktası tayin edilmelidir. AHY ile üretilen uygunluk haritası baz alındığında ve belirlenen öncelikli karayolu yapımına ihtiyaç duyan 3 bölge için farklı başlangıç ve bitiş noktaları tesis edilmiştir. Bu noktalar belirlenirken karayolları kavşak noktaları dikkate alınmıştır. Dolayısıyla oluşturulacak olan güzergâhlar iki farklı karayolunu birbirlerine bağlar nitelikte olacaktır. Şekil 4.8'de belirlenecek 3 güzergah için tesis edilen başlangıç ve bitiş noktaları görülmektedir.



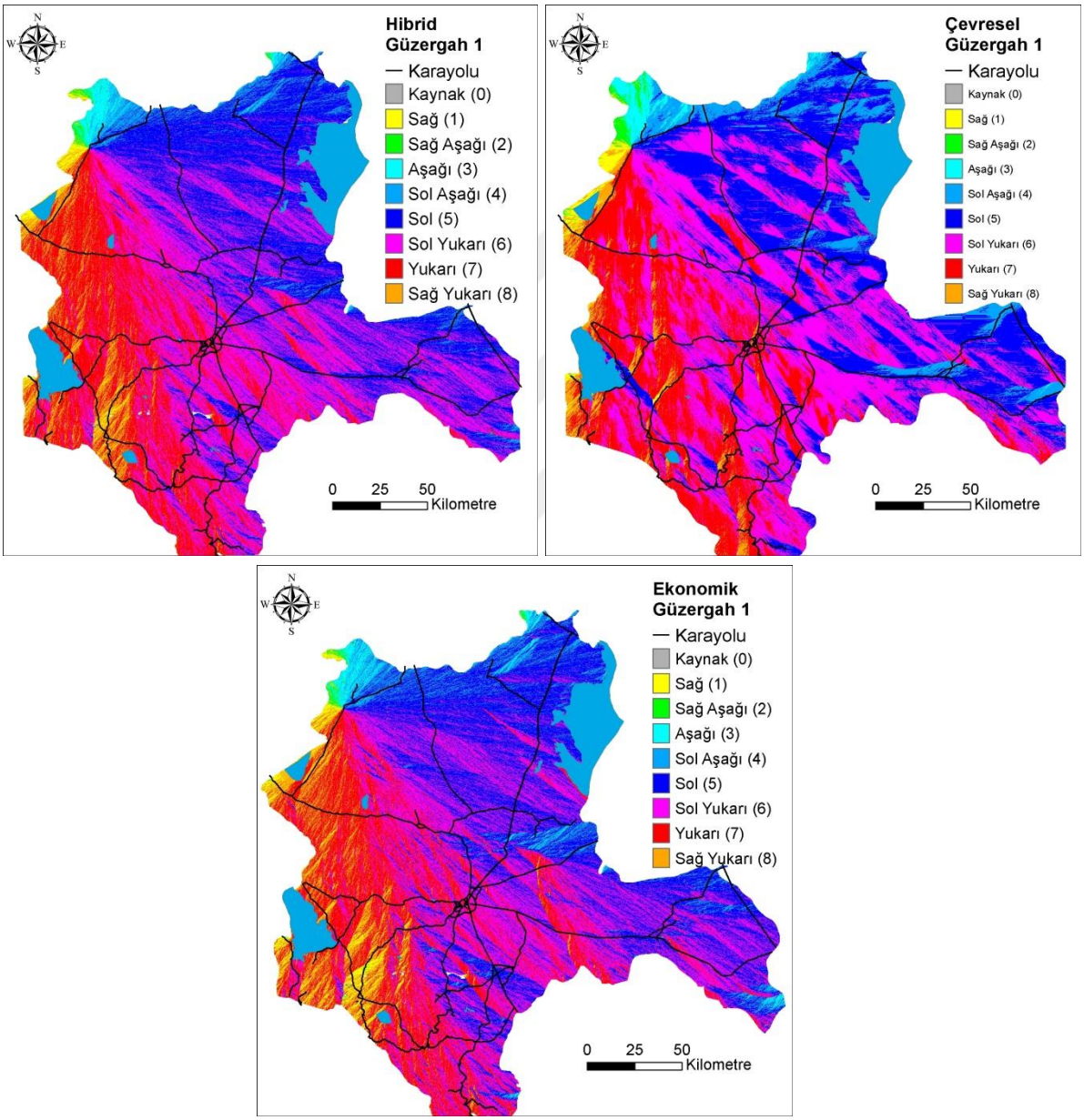
Şekil 4.8. Güzergahların başlangıç ve bitiş noktaları

Yönlendirme yüzeyleri oluşturulurken başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Yönlendirme yüzey verileri belirtilen noktalar için yön tayini yapacağından bu noktalar belirlenmeden bir yüzey oluşturmak imkânsızdır. Başlangıç ve bitiş noktaları aynı zamanda hesaplanacak olan güzergâhların başlangıç ve bitiş noktasını temsil edecektir. Şekil 4.9'da yönlendirme oluşturmak için kullanılan Spatial Analyst menüsü görülmektedir.



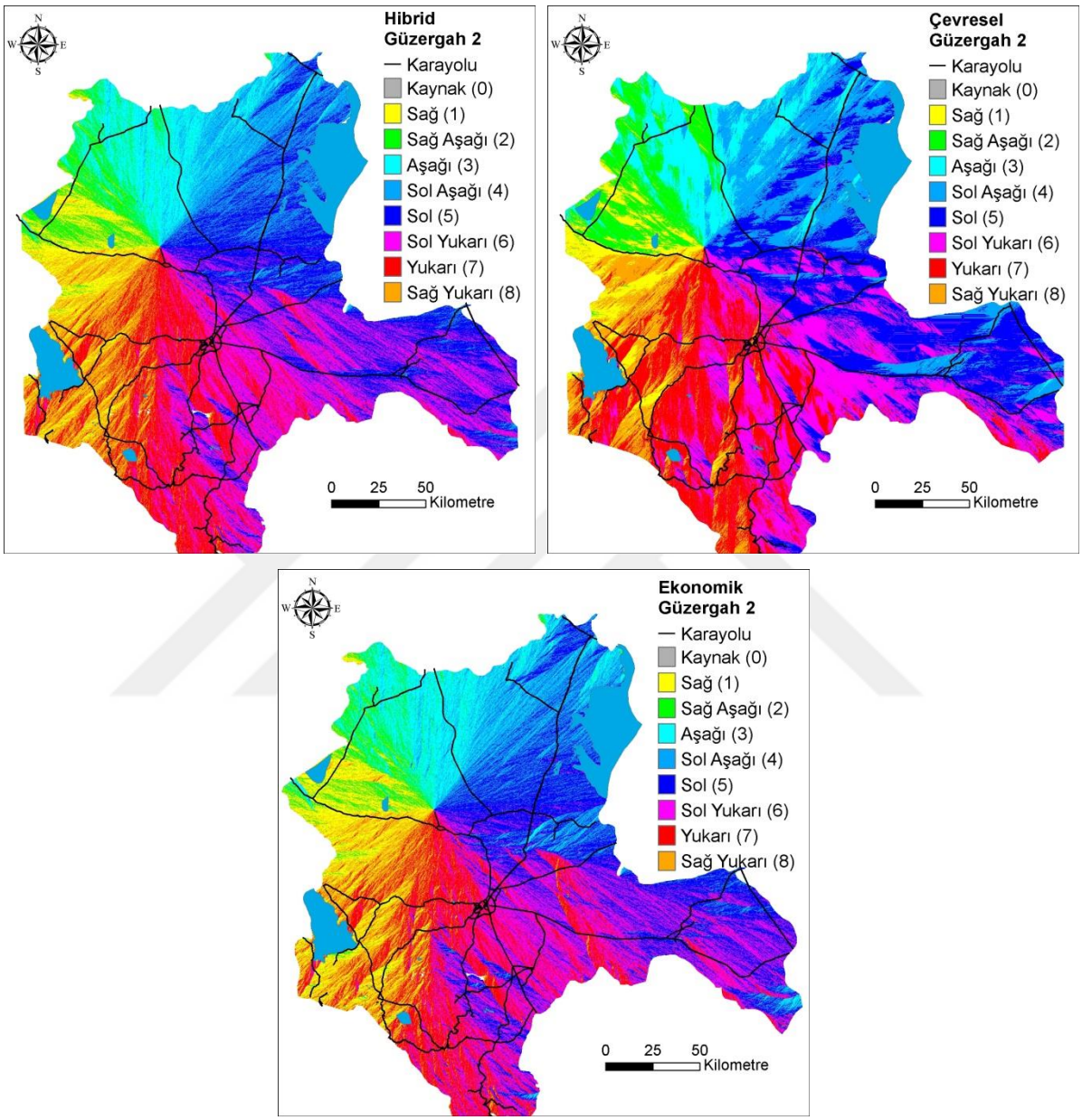
Şekil 4.9. Yönlendirme verisi oluşturma menüsü

Menü incelendiğinde **Feature Source Data** olarak adlandırılan kısma bitiş noktası girilmelidir. **Input Cost Raster** kısmında ise hangi maliyet yüzeyine göre işlem yapılacağı bilgisi girilmelidir. Son olarak çıktı yönlendirme verisinin nereye kaydedileceği belirlenerek işlem tamamlanmaktadır. Şekil 4.10'da 1 nolu güzergâh için oluşturulan yönlendirme yüzeyleri görülmektedir. Hibrid ve ekonomik yüzeylerin birbirine yakın olduğu, sadece çevresel yüzeyin bazı bölgelerde değişiklik gösterdiği tespit edilmektedir.



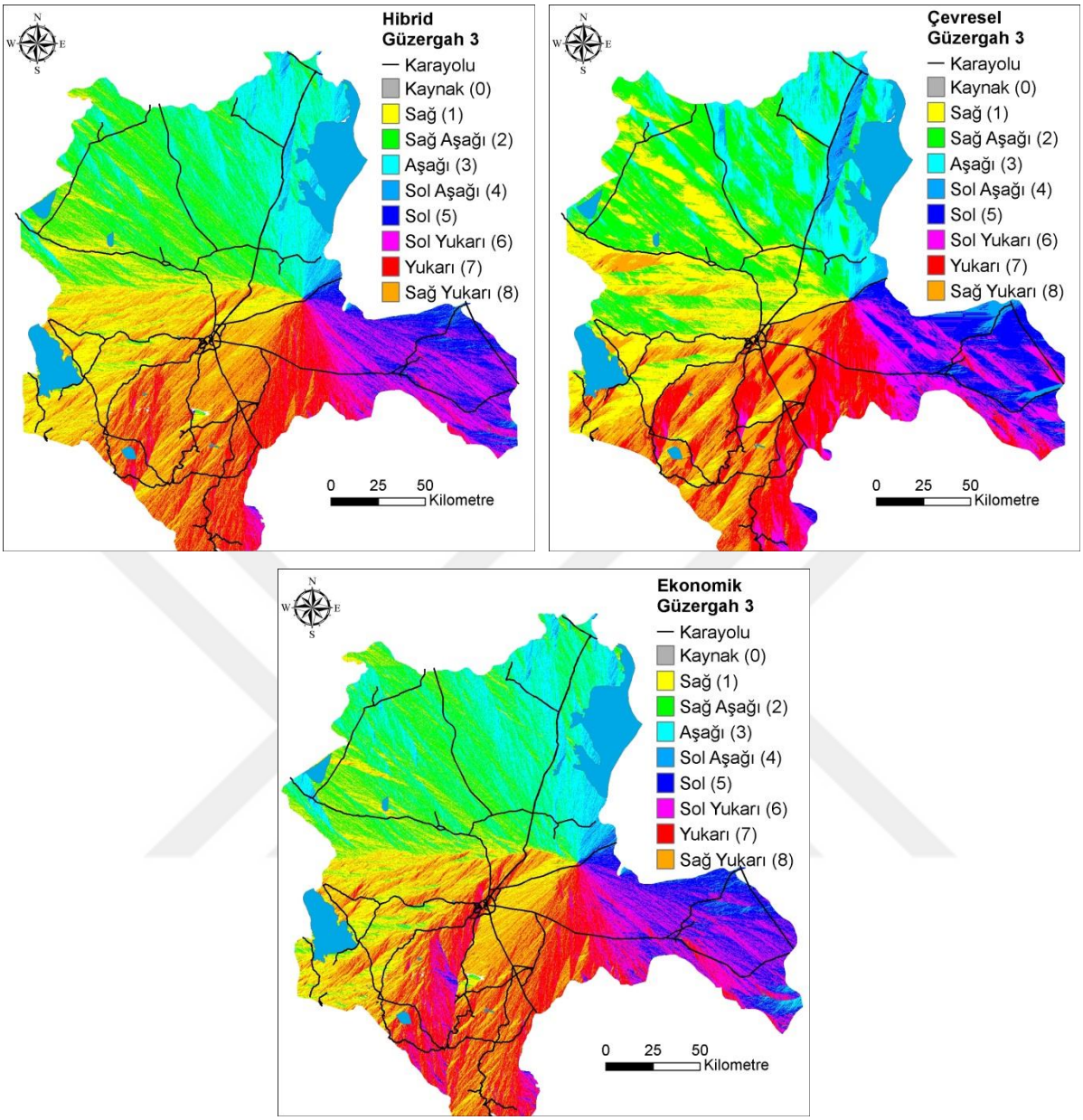
Şekil 4.10. Güzergah 1 yönlendirme yüzeyleri

Şekil 4.11'de 2 nolu güzergâh hesaplaması için oluşturulan yönlendirme yüzeyleri görülmektedir. Bu güzergâh hesaplamasında da çevresel yüzeyin diğerlerinden farklı olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.11. Güzergâh 2 yönlendirme yüzeyleri

Son olarak Şekil 4.12'de 3 nolu güzergâh için oluşturulan yönlendirme yüzeyleri gösterilmektedir. Tüm yönlendirme yüzeylerinde 0 kodlu ve gri olarak belirlenen piksel başlangıç noktasını temsil etmektedir.

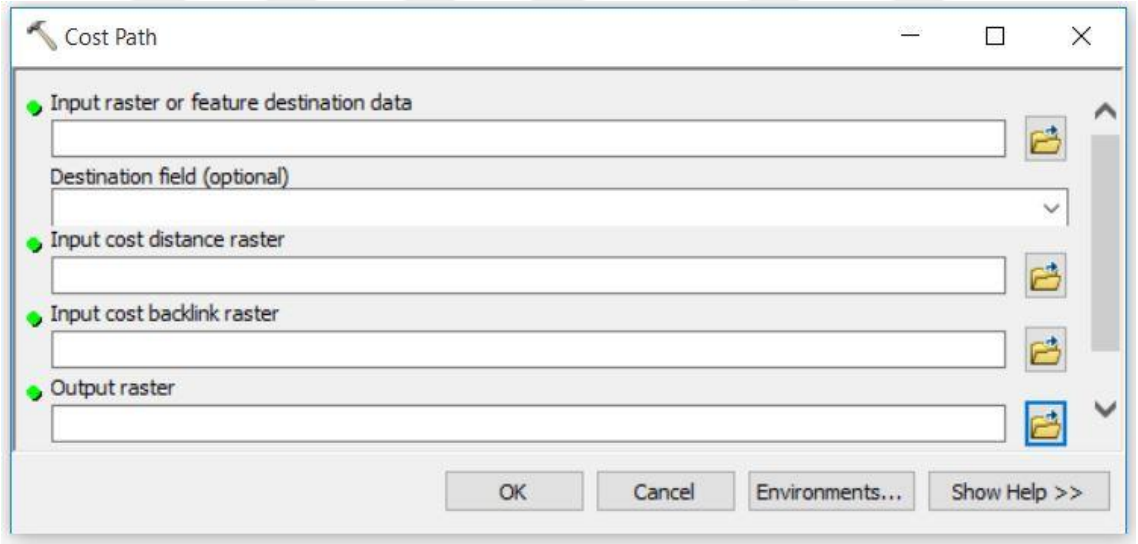


Şekil 4.12. Güzergâh 3 yönlendirme yüzeyleri

4.3.3. EAMR Güzergâhlarının Oluşturulması

Hazırlanan maliyet yüzeyleri ve yönlendirme yüzeyleri kullanılarak son aşamada başlangıç ve bitiş noktaları arasında güzergâh geçirilmesi işlemi **Cost Path** analizi ile gerçekleştirilmiştir. EAMR algoritmasının çalıştırılması ile bulunan güzergâhlar, verilen maliyet yüzeyine ve yönlendirme yüzeyindeki yön verilerine göre güzergâhın çizimini yapmaktadır. Hibrid, çevresel ve ekonomik yüzeylere göre farklılık gösterecek olan güzergahlar incelenerek sonuçlar bu bölümde paylaşılacaktır.

Şekil 4.13'de ArcGIS 10.1 yazılımı **Cost Path** analiz menüsü görülmektedir. Maliyet yüzeyleri, yönlendirme verisi, başlangıç-bitiş noktalarının belirlenmesi ve çıktı güzergâh bilgisinin nereye kaydedileceği bilgisi verildikten sonra EAMR algoritması çalışarak en uygun güzergahları belirlemektedir. Çıktı ürün yine bir raster verisi olmaktadır. Her ne kadar güzergâh denilince akla ilk gelen çizgisel bir vektör veri formatı olsa da, tamamen raster veri üzerinde işlem yapıldığından dolayı sonuç çıktı üründe raster formatta olmaktadır. Sonrasında çeşitli raster-vektör dönüşümleri ile bu raster veri vektör formata dönüştürülerek kullanılabilmektedir.

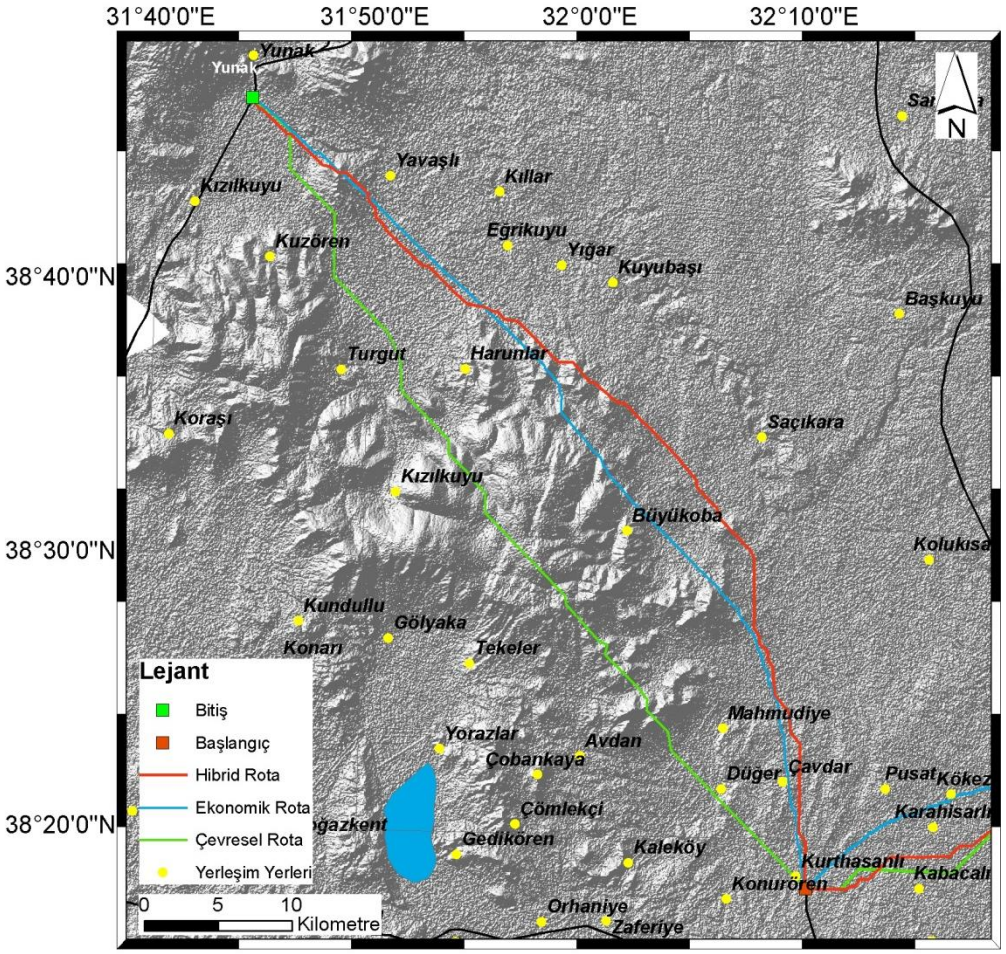


Şekil 4.13. EAMR algoritmasının çalıştırıldığı menü

Güzergâh hesaplama işlemi toplamda belirlenen 3 bölge için hibrid, ekonomik ve çevresel olmak üzere 3 farklı yaklaşımla yapılacağından toplamda 9 adet güzergâh hesaplanmış olmaktadır. Tüm hesaplanan güzergâhların gösterimi karşılaştırması ve incelenmesi bölge bölge gerçekleştirilmiştir.

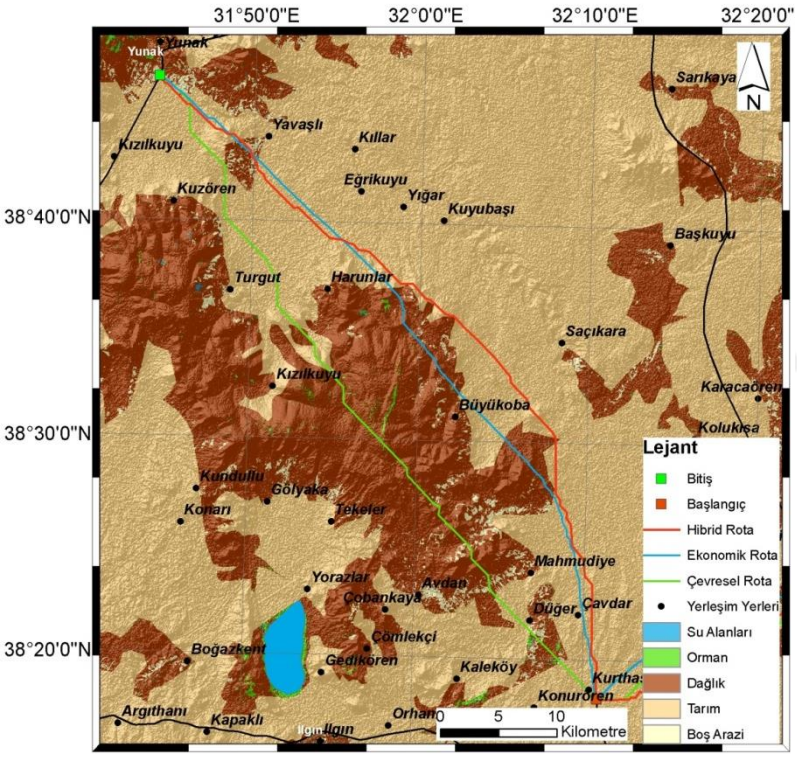
4.3.3.1. 1.Bölge Güzergâh İncelemesi

Yunak-Ilgın-Kadınhanı arasında kalan 1. Bölge, ortasında orta yükseklikte dağlar barındırmaktadır. Başlangıç noktası Ilgın-Akşehir karayolu üzerinde, bitiş noktası ise Akşehir Yunak karayolu üzerinde bir nokta belirlenen güzergâhların oluşturulması EAMR ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14'de oluşturulan 3 güzergâh gösterilmektedir.



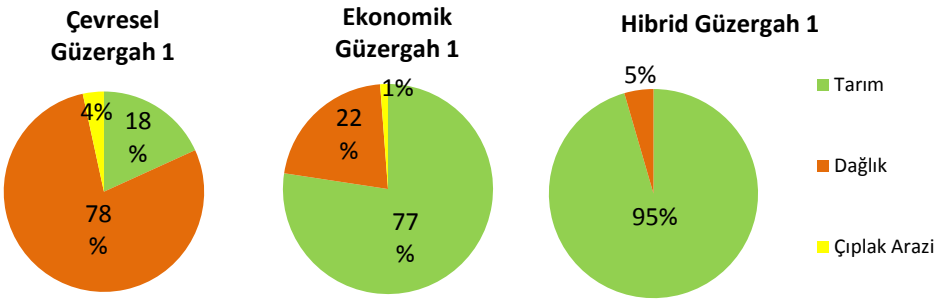
Şekil 4.14. 1. Bölge EAMR güzergâhları

Oluşturulan 3 güzergâh arazi kullanımı açısından incelendiğinde büyük çoğunlukla tarımsal arazilerden geçtiği görülmektedir. Arazi kullanımı verisinde boş arazilerin ağırlığının daha fazla olmasına karşın bölgede boş arazi varlığının çok az olmasından dolayı ikinci sırada ağırlığı yüksek olan tarım arazilerinden geçmiştir. Çevre odaklı güzergâh hesaplamasında tarım arazileri ve ormanlar öncelikli olduğundan dolayı bu güzergâh dağlık alanlardan geçmiştir. Ekonomi odaklı güzergâh ise dağlık bölgeleri atlayarak hemen hemen tamamı tarımsal alanlardan geçmektedir. Bu bölgede hem dağlık hem tarımsal arazilerin var oluşu, eğimli ve düz bölgelerin varlığı ve diğer kriter etmenlerde göz önüne alındığında en mantıklı ve kullanılabilir güzergâh hibrid yaklaşımda elde edilmiştir. Şekil 4.15'te belirlenen güzergâhlar ve arazi kullanımı karşılaştırması gösterilmiştir.



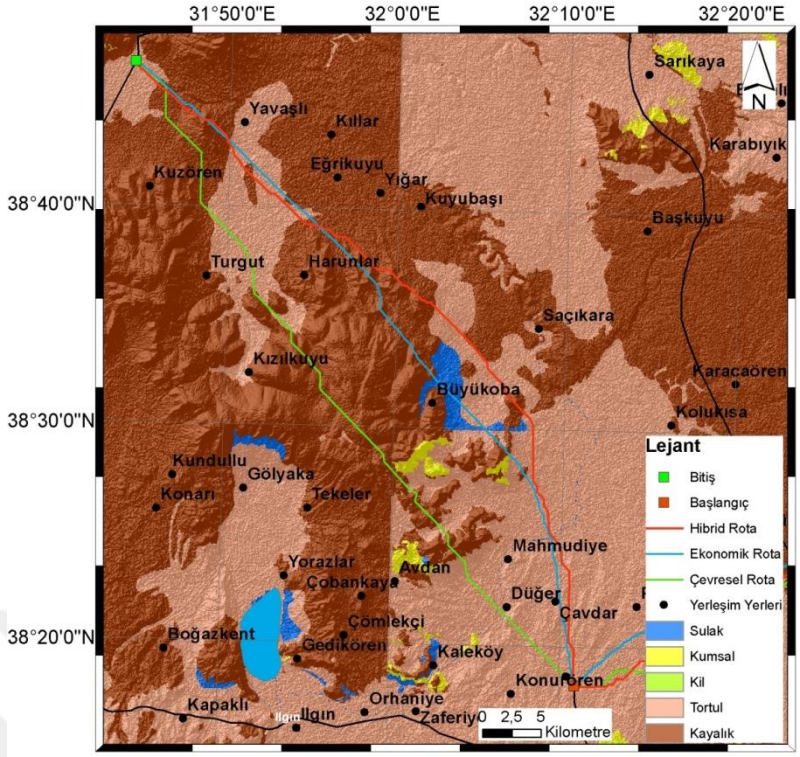
Şekil 4.15. 1. Bölge güzergâhların arazi kullanımı ile kesişimi

Kapsadıkları alana göre değerlendirildiğinde çevre odaklı güzergâh %78 oranında dağlık, ekonomik odaklı güzergâhın ise %77 oranında tarım arazilerinden geçtiği görülmektedir. Bu durum hibrid odaklı güzergâhta %95'e çıktığı görülmektedir. Şekil 4.16'da güzergâh kapsadıkları alanlar görülmektedir.



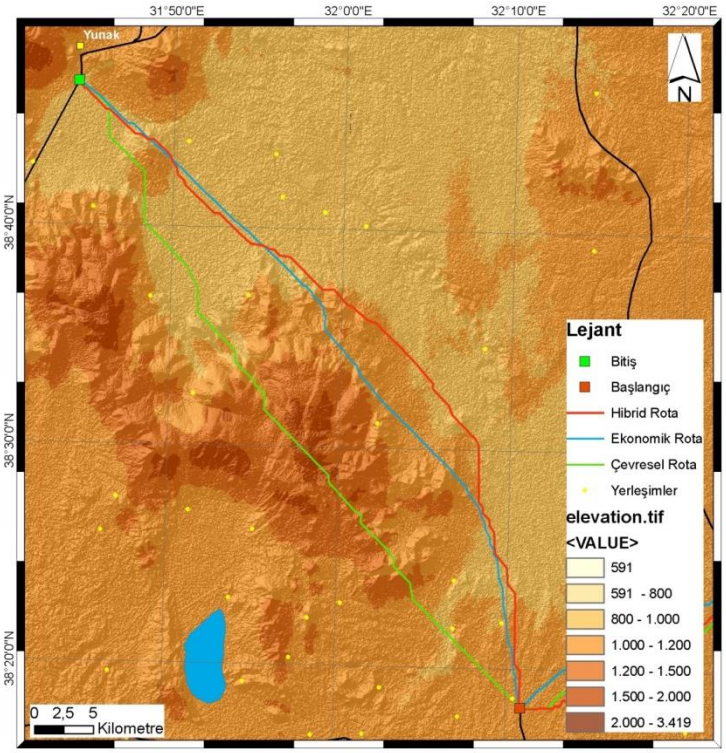
Şekil 4.16. 1. Bölge güzergâhların kapsadıkları arazi yüzeyi

Jeoloji açısından değerlendirildiğinde her bir yaklaşımdaki güzergâhın da uygun bölgelerden geçtiği görülmektedir. Kayalık ve tortul gibi ağırlığı en yüksek sınıflardan geçiş yapan güzergâhlarda sadece ekonomik odaklı güzergâhın çok az bir kısmının sulak alanlardan geçtiği görülmektedir. Jeolojik açıdan en uygun güzergâh ise çevre odaklı güzergâh olduğu görülmektedir. Şekil 4.17'de oluşturulan güzergâhların jeolojik katmanlar ile kesişmesi görülmektedir. Bu kapsamda düşünülmesi gereken, çevre odaklı güzergâhların genellikle tarımsal arazi ve orman dışından geçecek şekilde ağırlıklandırılmasından ve aynı zamanda dağlık bölgelerin ağırlığının fazla olmasından dolayı çevre odaklı güzergâhlar dağlık bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Dağlık bölgeler ise büyük oranda kayalık ve sağlam zeminlerden oluştuğu göz önüne alındığında jeolojik açıdan en uygun güzergâh çevre odaklı güzergâhlar olacaktır.



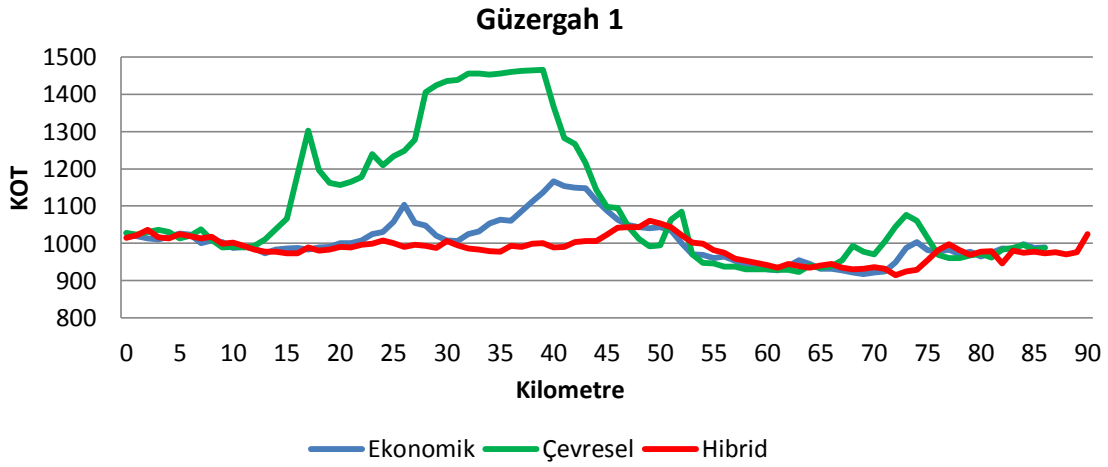
Şekil 4.17. 1. Bölge güzergâhların jeoloji ile kesişimi

Yükseklik verisi açısından güzergâhlar incelendiğinde çevre odaklı güzergâhın tarımsal arazilerden geçmemesi nedeniyle dağlık bölgelere yönelmesinden dolayı yüksekliği artmaktadır. Yükseklik açısından en uygun güzergâh hibrid yaklaşım güzergâh olup ekonomik odaklı güzergâh çok az da olsa dağlık bölümün tarım arazilerle birleştiği yerlerden geçtiği görülmektedir. Şekil 4.18'de yükseklik verisi ile oluşturulan güzergâhların kesişmesi gösterilmektedir.



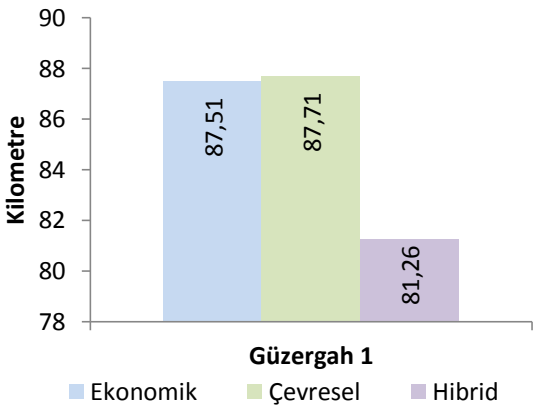
Şekil 4.18. 1. Bölge güzergâhların yükseklik ile kesişimi

Hesaplanan güzergâhların profili çıkartıldığında çevre odaklı güzergâhın dağlık alandan geçmesi nedeniyle 1000 metre kot değerlerinden 1400 metre kot değerlerine kadar yükseldiği görülmektedir. Bu durum ciddi bir kazı/dolgu maliyeti çıkartacağından dolayı ekonomik açıdan oldukça olumsuz bir güzergâh olmaktadır. Ekonomik güzergâhta az da olsa 100 metre bir kot farkı yaşanmakta, hibrid odaklı güzergâhta ise yaklaşık 75 metre gibi bir kot değişimi yaşanmaktadır. Profil açısından hem ekonomik hem de hibrid odaklı güzergahlar profil açısından oldukça uygun görünmektedir. Şekil 4.19'da güzergahların profil çizimleri verilmektedir.



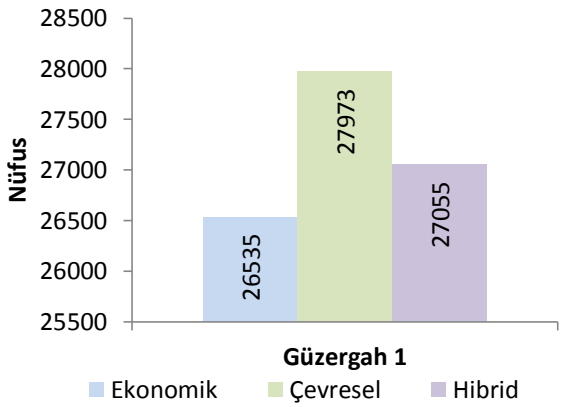
Şekil 4.19. Güzergahların profil çizimleri

Oluşturulan güzergâhların uzunlukları incelendiğinde hibrid odaklı güzergâhın diğerlerinde 6 kilometre kısa olduğu görülmektedir. Diğer iki güzergâh ise hemen hemen aynı uzunlukta çıkmaktadır. Şekil 4.20'de güzergâhların uzunluk karşılaştırmaları gösterilmektedir.



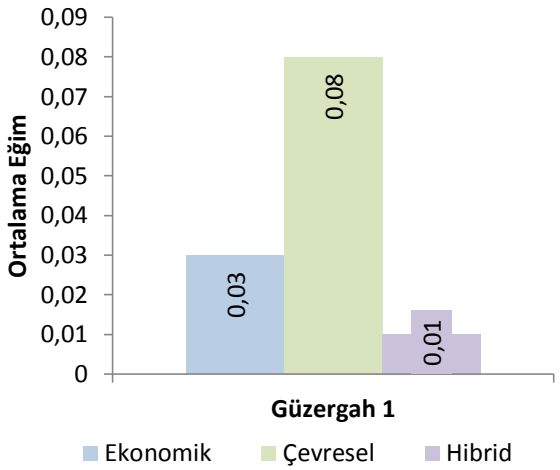
Şekil 4.20. Güzergâhların uzunluk karşılaştırması

Nüfus açısından incelendiğinde hesaplanan güzergâhların geçtiği bölgede yaşayan nüfus sayıları birbirlerine oldukça yakın çıkmaktadır. Çevresel güzergâhın nüfusu yoğun dağlık alanlardan geçmesi nedeniyle diğerlerin oranla daha çok nüfusa hizmet ettiği görülmektedir. Şekil 4.21'de nüfus grafiği gösterilmektedir.



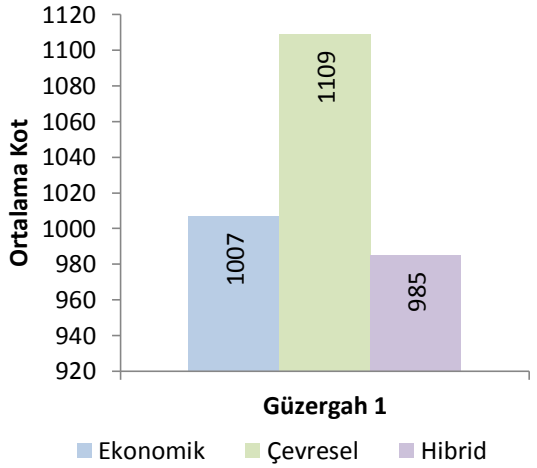
Şekil 4.21. Güzergâhların nüfus karşılaştırması

Rotaların tamamının ortalama eğimi göz önüne alındığında, bilindiği üzere ortalama eğim yol maliyetini ve kalitesini etkileyen en önemli etken olduğundan, çevre odaklı güzergâhın dağlık alanlardan geçmesi nedeniyle diğerlerine oranla önemli bir ortalama eğim fazlalığı bulunmaktadır. % 8 gibi bir ortalama eğimi olan çevre odaklı güzergâha karşın, % 1 ortalama eğim ile hibrid odaklı güzergâh en az ortalama eğimi olan güzergâh olmaktadır. Şekil4.22'de ortalama eğimler gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Güzergâhların ortalama eğim karşılaştırması

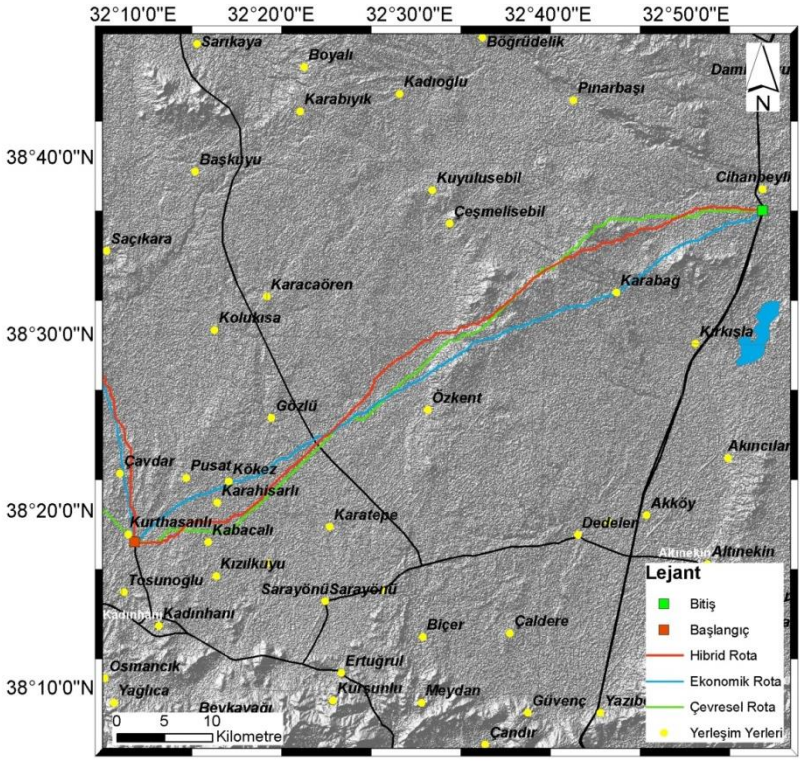
Son olarak 1. Bölge için güzergâhların ortalama kot değerleri incelendiğinde çevresel odaklı güzergâhın 1109 metre ortalama kot ile en yüksek ortalamaya sahip olduğu görülmektedir. En düşük kot değerini ise 985 ile hibrid yaklaşım sağlamaktadır. Şekil 4.23'de ortalama kot değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.23. Güzergâhların ortalama kot karşılaştırmaları

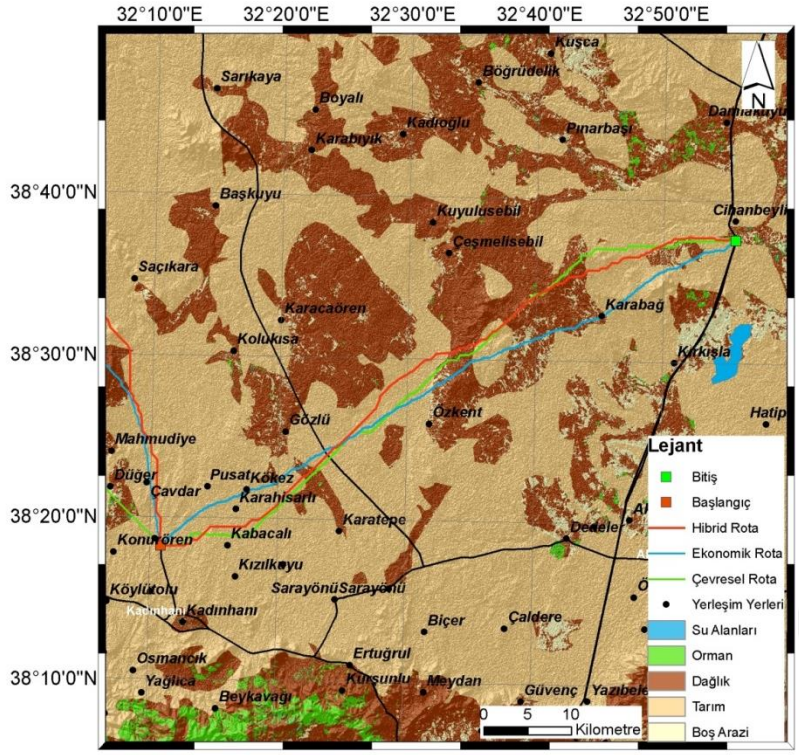
4.3.3.2. 2.Bölge Güzergâh İncelemesi

Kadınhanı-Kulu-Altınekin üçgeninde kalan 2. Bölgede 3 adet güzergâh hesaplaması yapılmıştır. Başlangıç olarak Kadınhanı Akşehir karayolu üzerinde bir nokta, bitiş olarak ise Konya Ankara karayolu, Kulu yakınlarında bir karayolu kesişimi seçilmiştir. Bölge tamamen tarımsal karakterde olup, çok az bir kısımda küçük tepelik bulunmaktadır. Güzergâhların genel olarak bir birlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun esas nedeni ise arazi koşullarının stabil olmasıdır. Ekonomik odaklı güzergâhın diğer güzergâhlara oranla daha düz bir şekilde olduğu görülmektedir. Şekil 4.24'de 2. Bölge için oluşturulan güzergâhlar gösterilmektedir.



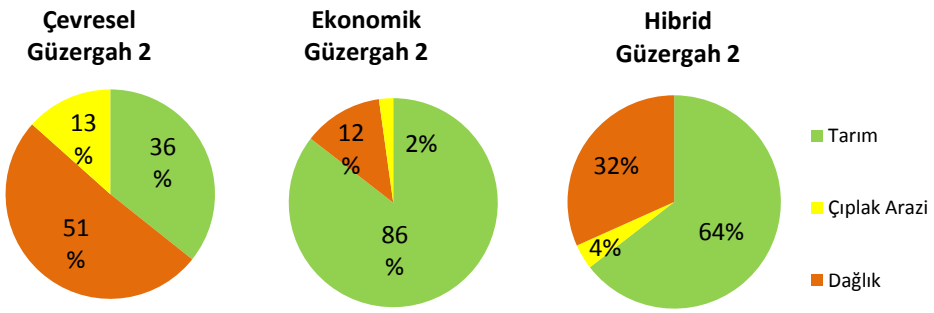
Şekil 4.24. 2. Bölge EAMR güzergâhları

Güzergâhların arazi kullanımı ile kesişmesi incelendiğinde bölgede boş arazi olmaması ve büyük çoğunluğunun tarımsal arazi olması nedeni ile güzergâhların hepsinin tarımsal arazilerden geçtiği görülmektedir. Bölgede ormanlık alan olmaması nedeni ile de çevre odaklı güzergâh karakteristik olarak diğer odaklı güzergâhlarla çok benzerlik göstermektedir. Bölgenin ortasında kalan ve çok fazla bir yükseltisi olmayan dağlık bölgenin de her bir güzergâh tarafından kullanıldığı görülmektedir. Şekil 4.25'de arazi kullanımı ve hesaplanan güzergâhlar gösterilmektedir.



Şekil 4.25. 2. Bölge güzergâhların arazi kullanımı ile kesişimi

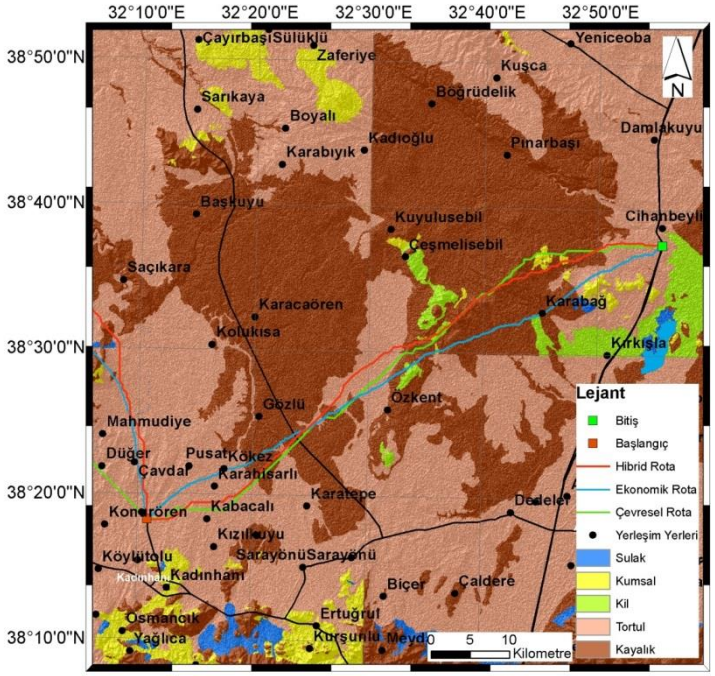
Güzergâhların geçtiği arazi yüzeyleri kıyaslandığında çevre odaklı güzergâhın bölgedeki dağlık alanı kullanması sonucu %51 gibi bir oranla dağlık araziden geçtiği görülmektedir. Ekonomik güzergâhın % 86 ile neredeyse tamamen tarımsal arazilerden geçtiği görülmektedir. Hibrid odaklı güzergâh ise büyük oranda tarımsal olmak ve geri kalanı dağlık olmak üzere ortalama bir güzergâh geçirimi şeklindedir. Güzergâhların kapsadıkları alanlar Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



Şekil 4.26. 2. Bölge güzergâhların kapsadıkları arazi yüzeyi

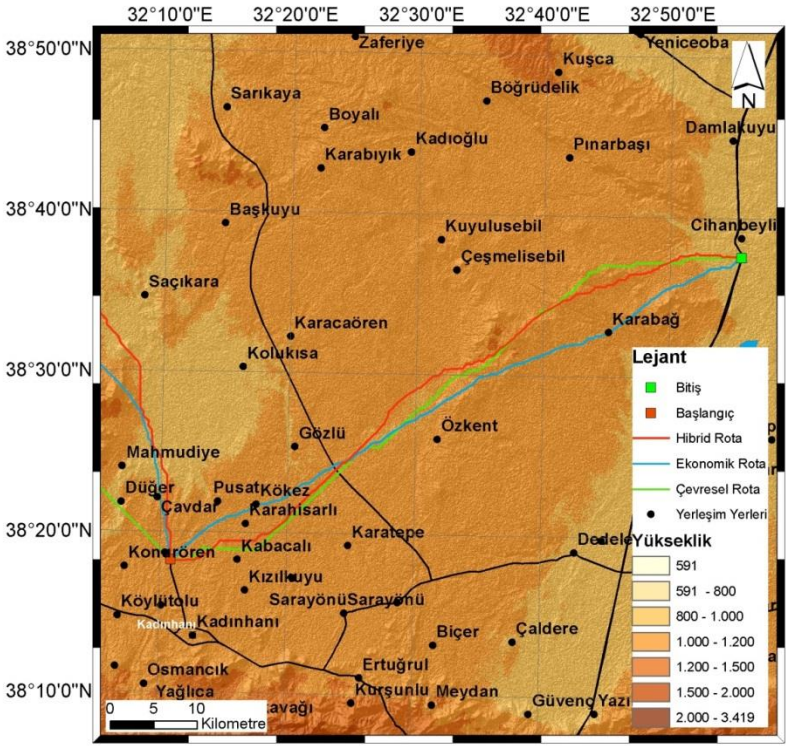
Jeolojik açıdan değerlendirildiğinde tüm güzergâhların en uygun sınıflardan geçtiği görülmektedir. Bölgenin ortasında kalan sulak ve kumsal alanların tüm

güzergâhlar tarafından pas geçildiği görülmektedir. Ekonomik güzergâh diğerlerine oranla çok küçük bir yüzdelik ile sulak alanların kenarından geçmektedir. Şekil 4.27'de jeoloji haritası ile güzergâhların kesişimi gösterilmektedir.



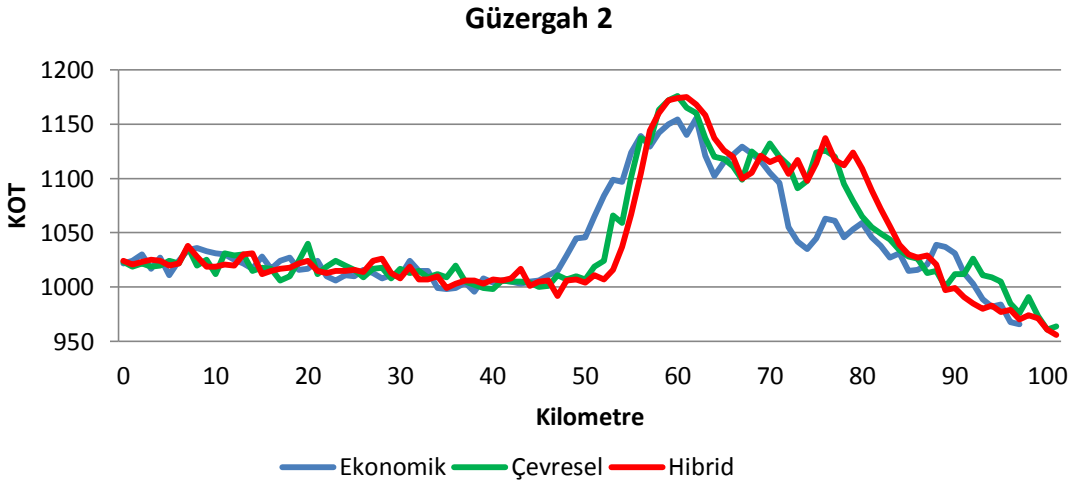
Şekil 4.27. 2. Bölge güzergâhların jeoloji ile kesişimi

2. bölge güzergâhları yükseklik açısından değerlendirildiğinde tüm güzergâhların aynı kot değerlerine sahip bölgelerden geçtiği görülmektedir. Oldukça düz ve yükseltisiz bir arazi yapısına sahip olan bölgede arazi kullanımı ve jeoloji yapısının da sabit olması nedeniyle güzergâhlar birbirlerine benzer çıkmıştır. Şekil 4.28'de yükseklik verisi ile hesaplanan güzergâhların kesişimi gösterilmektedir.



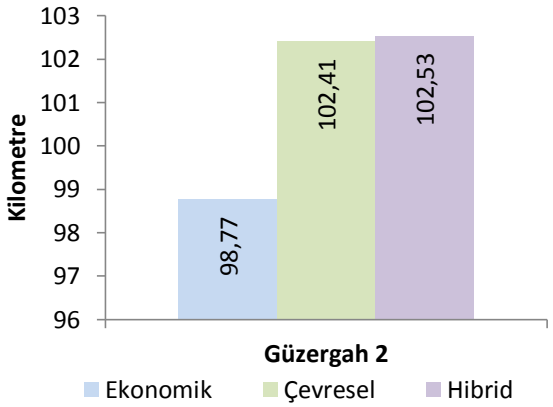
Şekil 4.28. 2. Bölge güzergâhların yükseklik ile kesişimi

Şekil 4.29'da tüm güzergahların profil değeri gösterilmektedir. Güzergahların tamamı hemen hemen aynı profil değerine sahip olduğu görülmektedir.



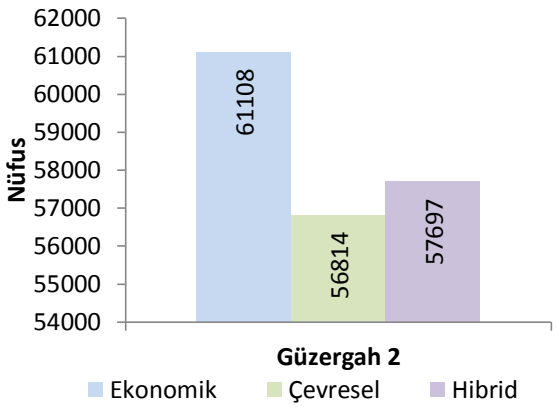
Şekil 4.29. Güzergahların profil çizimleri

Güzergâhların uzunlukları değerlendirildiğinde ekonomik odaklı güzergâhın diğerlerine oranla yaklaşık 4 kilometre daha kısa olduğu görülmektedir. Çevre ve hibrid odaklı güzergâhlar aynı uzunluğa sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.30'da güzergâhların uzunluk karşılaştırılmaları gösterilmektedir.



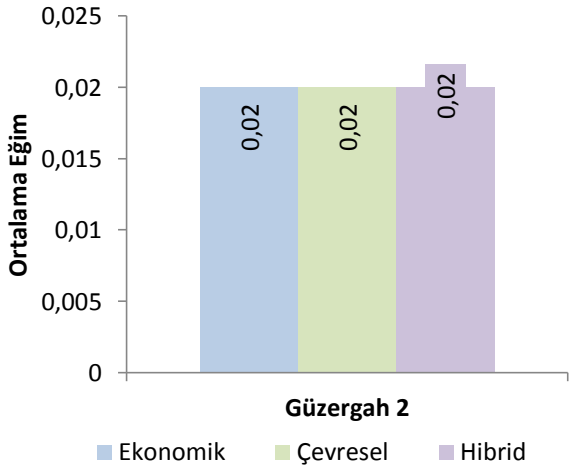
Şekil 4.30. Güzergâhların uzunluk karşılaştırması

Nüfus açısından 2. Bölge incelendiğinde ekonomik odaklı güzergâhın daha fazla nüfusa hitap ettiği görülmektedir. Çevre odaklı güzergâhın bazı yerleşim yerlerini pas geçmesi sonucu en düşük nüfus değerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.31'de güzergâhların nüfus karşılaştırması verilmektedir.



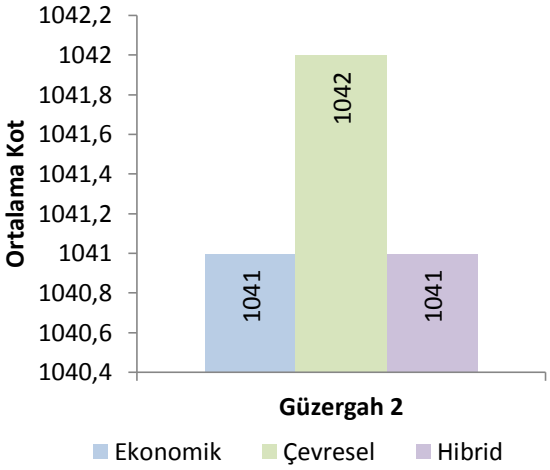
Şekil 4.31. Güzergâhların nüfus karşılaştırması

Güzergâhların ortalama eğimleri göz önüne alındığında % 2 ile tümünün eğimlerinin aynı olduğu görülmektedir. Arazi yükseltisinin ve yapısının benzerliği, eğimlerin aynı olmasını sağlamıştır. Şekil 4.32'de güzergâhların ortalama eğimlerinin karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 4.32. Güzergâhların ortalama eğim karşılaştırması

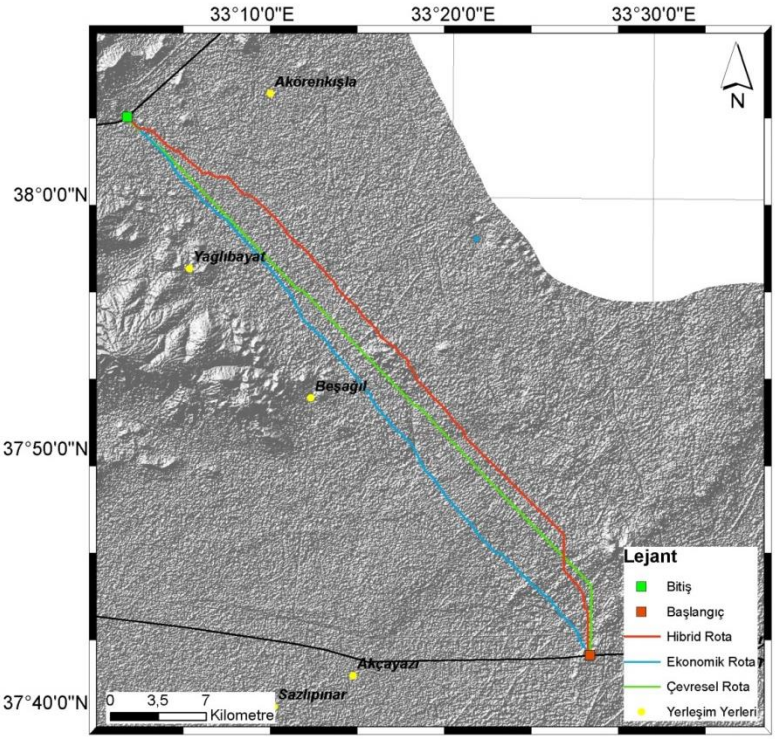
Ortalama kot değerleri göz önüne alındığında tüm güzergâhların 1042 ortalama kot değerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.33'te ortalama kot değerlerinin kıyaslanması verilmektedir.



Şekil 4.33. Güzergâhların ortalama kot karşılaştırmaları

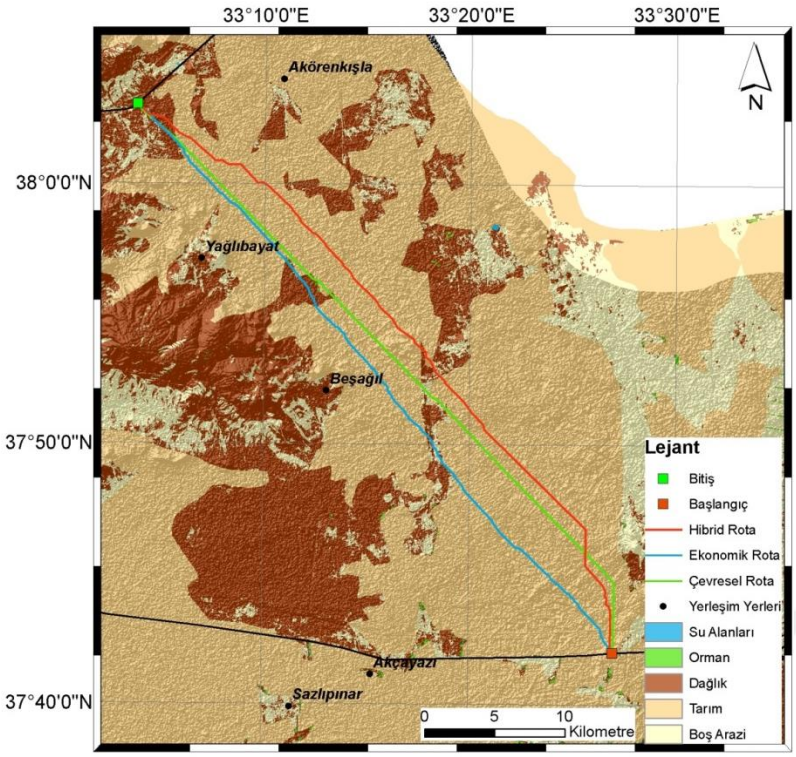
4.3.3.3. 3.Bölge Güzergâh İncelemesi

3. bölge, Karapınar-Altınekin arasında kalan bir boşluktur. Bölge orta kısmında dağlık ve ağırlıklı olarak tarımsal arazilerin bulunduğu bir bölge konumundadır. Oluşturulan güzergâhlara bakıldığında birbirlerine çok yakın oldukları gözlemlenmektedir. Çevre odaklı güzergâhın diğerlerine oranla daha düz bir yapıda olduğu, ekonomik odaklı güzergâhın ise bazı arazi sınırlarını takip ederek daha doğal bir görünümde olduğu görülmektedir. Şekil 4.34'de 3.bölge için oluşturulan güzergâhlar verilmiştir.



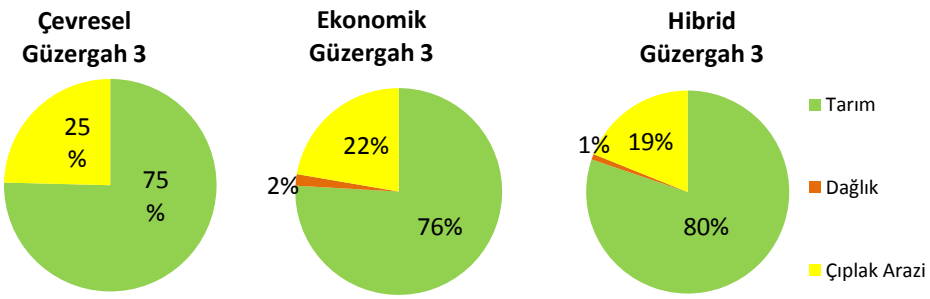
Şekil 4.34. 3. Bölge EAMR güzergâhları

Arazi kullanımı açısından bölge incelendiğinde hemen hemen tamamının tarımsal arazi olduğu görülmektedir. Çok az da olsa küçük bir alanda çıplak araziler ve dağlık kesimler olduğu görülmektedir. Özellikle ekonomik odaklı güzergâhın dağlık alan sınırını takip ettiği tespit edilmiştir. Şekil 4.35'te 3. Bölgenin arazi kullanımı verilmektedir.



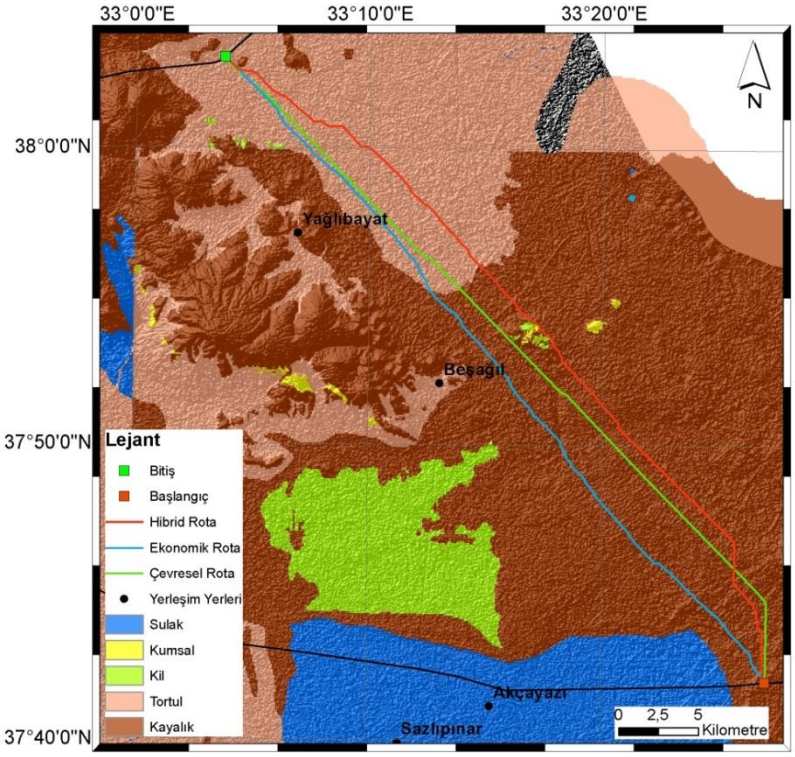
Şekil 4.35. 3. Bölge güzergâhların arazi kullanımı ile kesişimi

Oransal açıdan bakıldığında tüm güzergâhların % 80 civarında tarımsal alanlardan geçtiği tespit edilmiştir. Dağlık alandan geçme oranı yok denilecek kadar azdır. Şekil 4.36'da güzergâhların geçtiği arazi tiplerinin oranları verilmiştir.



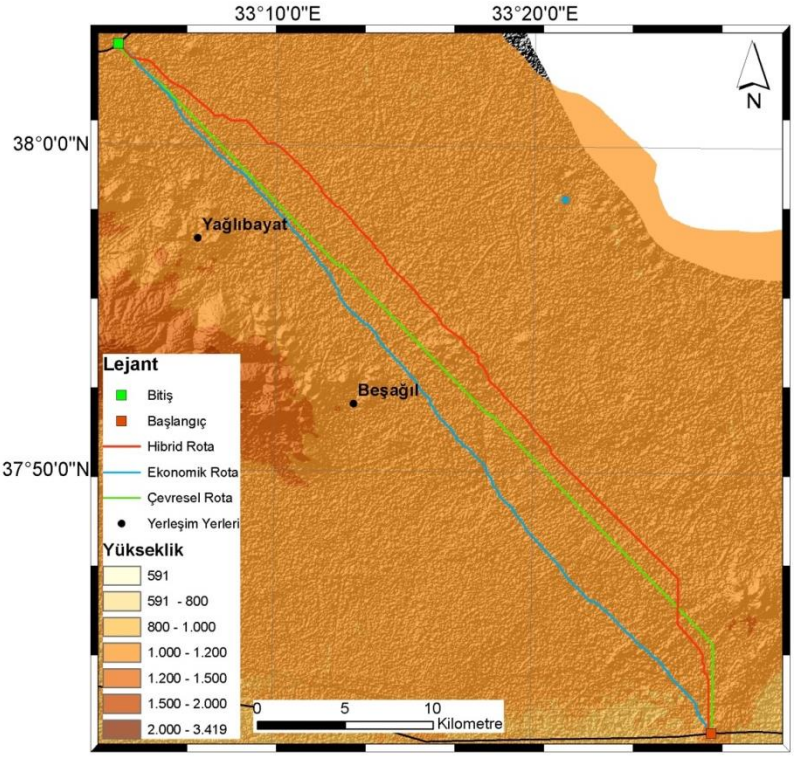
Şekil 4.36. 3. Bölge güzergâhların kapsadıkları arazi yüzeyi

Jeolojik açıdan incelendiğinde tüm güzergâhların en uygun olan kayaç ve tortul zeminlerden geçtiği görülmektedir. Çok küçük bir kısımda uygun olmayan sulak ve kumsal bölge olduğu tespit edilmiştir. Hibrid güzergâhın çok yakınına denk gelen bu alanın algoritma tarafından göz ardı edilerek güzergâhın değiştirildiği görülmektedir. Şekil 4.37'de jeoloji verisi ile oluşturulan güzergâhların kesişimi görülmektedir.



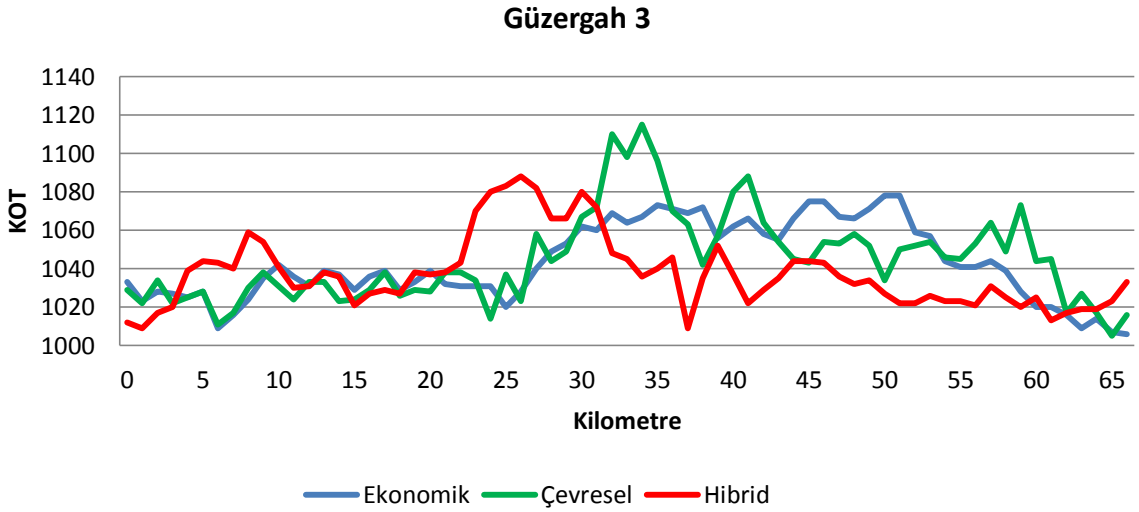
Şekil 4.37. 3. Bölge güzergâhların jeoloji ile kesişimi

Yükseklik açısından değerlendirildiğinde tüm güzergâhların aynı yükseklik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Arazinin oldukça düz olmasından dolayı tüm güzergâhlar birbirlerine benzer şekilde oluşmuşlardır. Şekil 4.38'de oluşturulan güzergâhların yükseklik haritası ile çakışması gösterilmektedir.



Şekil 4.38. 3. Bölge güzergâhların yükseklik ile kesişimi

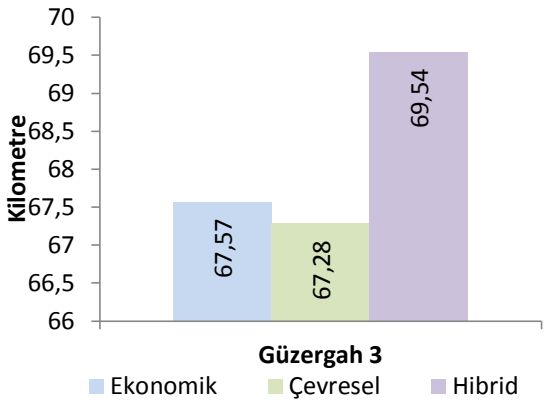
Ayrıca oluşturulan güzergahların profil çizimleri Şekil 4.39'da verilmektedir. Yükseklik değerlerinin aynı olmasından dolayı profil çizimleri de benzer çıkmıştır. Güzergâhlar yaklaşık 80 metrelik bir kot değişimine sahiptir.



Şekil 4.39. Güzergahların profil çizimleri

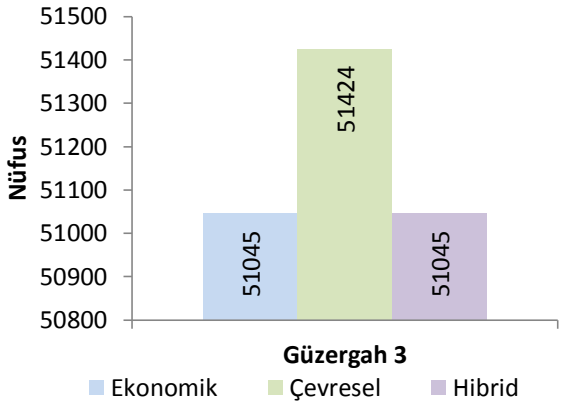
Oluşturulan güzergâhların uzunluklarına bakıldığında hibrid odaklı güzergâhın diğerlerinden 2 kilometre daha uzun olduğu görülmektedir. Çevre ve ekonomik odaklı

güzergâhlar hemen hemen aynı uzunluğa sahiptirler. Şekil 4.40'da güzergâhların uzunluk karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 4.40. Güzergâhların uzunluk karşılaştırması

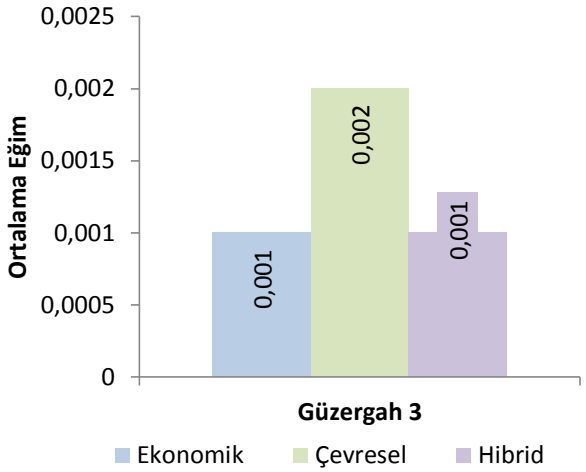
Nüfus açısından incelendiğinde tüm güzergâhların çok yaklaşık değerlerdeki nüfusa hitap ettikleri görülmektedir. Güzergâh üzerinde çok büyük yerleşim yeri olmayışı ve sadece başlangıç ve bitiş noktası civarındaki nüfus sayısı olduğundan tüm değerler birbirlerine yakın çıkmıştır. Şekil 4.41'de oluşturulan güzergâhların nüfus karşılaştırması verilmektedir.



Şekil 4.41. Güzergâhların nüfus karşılaştırması

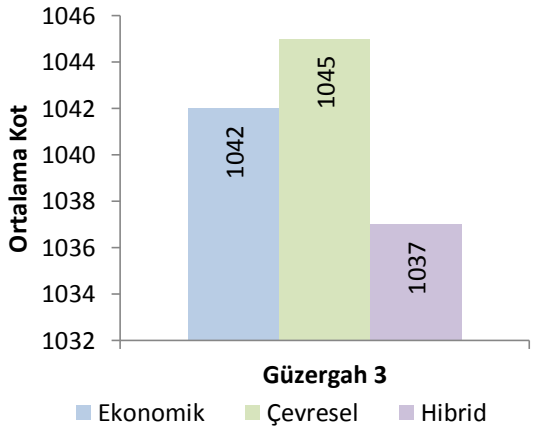
Güzergâhların ortalama eğimleri incelendiğinde, çok eğimli bir arazi olmaması ve yükseklik değişiminin çok olmaması nedeniyle ortalama % 1 çıkmıştır. Güzergâhlar

birbirine benzer karakteristik hesaplandığından tüm güzergâhların ortalama değeri aynı çıkmıştır. Şekil 4.42'de güzergâhların ortalama eğim değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.42. Güzergâhların ortalama eğim karşılaştırması

Güzergâhların ortalama kot değerleri incelendiğinde kayda değer bir yükseklik farkının olmayışından dolayı ortalama 1040 metre civarında olduğu görülmektedir. Bölgenin düz bir yapıya sahip olmasından dolayı ortalama kot değişimleri önemsenmeyecek kadar azdır. Şekil 4.43'te güzergâhların ortalama kot değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 4.43. Güzergâhların ortalama kot karşılaştırmaları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tez çalışmasının genel amacı, karayolu tasarım aşamasında karar vericilere yön gösterecek, karayolu gereksinimlerine ve ihtiyaçlarına göre araziye çıkmadan plancılara rehberlik edecek bir karar destek sistemi kurmanın Çok Ölçütlü Karar Analizleri ile yapılabilirliğinin ortaya konulmasıdır. Oluşturulan sistemde karayolu gereksinimlerine ve yapımında önemli olan kriterlerin kullanılması sağlanmıştır. Çok karmaşık kriterlerin bir araya getirdiği platforma karayolu için doğru yerlerin tespit edilmesi bu yöntem ile sağlanmıştır. Tüm bunlara ek olarak EAMR yönteminin kullanılması ile birlikte hesaplanan en uygun karayolu yapım yerlerine güzergâh çizilmesi mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışmada en önemli nokta, çevre, ekonomik veya hibrid odaklı karayolu güzergâhı çizimini mümkün hale getirmesidir. Günümüzde sıkça karşılaşılan ve gerek medya gerek sosyal ağlarda tartışma konularına yer edinmiş çevreye duyarlı karayolu konusu üzerine önemle durulması gereken bir konudur. Karayolu yapımında zarar gören ormanlar, yok olan tarımsal alanlar, değişen hayvan göç yolları, yönü değişen akarsular ve zarar gören habitat kavramları karayolu çalışmalarında maliyetten çok daha önemli üzerinde durulan konulardandır. Farklı perspektif ve yaklaşımlar ile birlikte karayolu güzergâh hesaplanmasında önceliklerin kolayca belirlenebilmesi ve istenilen odaklı güzergâh hesaplaması yapılabilmekte olduğu görülmüştür. Çok Ölçütlü Karar Analizlerinin en sık kullanılanı olan AHY yöntemi ile belirlenen ağırlıklar değiştirilerek istenilen hassasiyette ve perspektifte karayolu geçkisi için uygun alanlar belirlenebilmektedir.

Uygulanan bir diğer yöntem olan EAMR ile oluşturulan güzergâhlar incelendiğinde geçirilen güzergâhların sıfır geçkisi olarak adlandırılan ve hazırlık geçkisi olarak kullanılan güzergâhlar yerine kullanılabileceği görülmüştür. Gerek ekonomik gerekse çevre odaklı karayolu yapımında oluşturulan en uygun yerlere ek olarak geçirilen güzergâhlar büyük oranda isteği karşılamaktadır. Oluşturulan güzergâhlar; üzerinde çalışılması gereken, yeniden düzenlemesi veya üzerinde değişiklikler yapılarak mevcut karayolu projeleri haline getirilebilecek durumda olduğu görülmüştür. Sit alanları, doğa koruma alanları ve tarihi bölgeler gibi verilerin de eklenmesi ile hem yerel ölçekte hem de bölgesel ölçekte karayolu güzergâh tasarımına büyük oranda destek olacağı anlaşılmıştır.

Bu konuda üzerinde durulması gereken bir diğer husus ise kriterlerin seçimidir. Kriterler ne kadar çok ve detaylı olursa hesaplanan en uygun karayolu yapım bölgeleri ve oluşturulan güzergâhların gerçeğe o kadar yakın olacağı görülmüştür. Kriterler seçilirken tüm meslek disiplinleri ve tüm ihtiyaçlara cevap verebilecek kriterlerin seçilmesi gerçeklik payını ve uygulanabilirliğini daha da artıracaktır.

Kuşkusuz Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin Çok Ölçütlü Karar Analizleri ve EAMR metodu ile entegre halde çalışması önemi yadsınamaz bir platform oluşturmuştur. Tüm verilerin entegre edilmesi, karar vericilerin kararlarını alacakları tüm sistemin kurulması, uygun yer analizleri ve çevresel tüm etmenlerin bir arada değerlendirileceği bu platform sayesinde günümüz karayolu yapımında ve sonrasında yaşanan birçok sorunun önüne geçileceği ortaya çıkmıştır. Planlamadan, uygulamaya, çizimden karar vermeye kadar tüm adımlarda büyük kolaylık sağlayacak olan bu platform sayesinde sürdürülebilir planlama ve çevreye etkilerinin incelenmesi mümkün hale gelecektir.

5.2 Öneriler

Çalışmanın tüm ihtiyaçlara cevap verebilecek ve ortaya çıkan güzergâhların mümkün olduğunca en az revize ile kullanılabilmesini sağlamak amacı ile mümkün olan en çok kriterin sisteme dâhil edilmesi uygulama hassasiyetini artıracaktır. Örneğin meteorolojik veriler, rüzgâr yönleri, buzlanma verileri, su akış çizgileri gibi kriterlerin eklenmesi, tüm mevsim şartlarına uygun güzergâh hesaplamasına yardımcı olacaktır. Tarihi alanlar, doğal koruma alanları, koruma altındaki bölgeler ve doğal su kaynakları gibi kriterlerin eklenmesi ile birlikte güzergâhların bu bölge dışındaki yerlerden geçirilmesi mümkün hale gelecektir. Belki de karayolu yapımında en az önemsenen konulardan olan hayvan göç yolları ve habitat bölgelerinin sisteme kriter olarak eklenmesi büyük oranda çevre odaklı projelerin hayata geçirilmesini sağlayacaktır.

Tüm bunlara ek olarak karayolu plan aşamasından ziyade yapıldıktan sonraki durumu gösterir kriterler de eklenebilmektedir. Örneğin gürültü kirliliği ve bundan etkilenecek olan yerleşim yerlerinin kriter olarak eklenmesi veya etki altında kalacak olan habitat bölgelerinin eklenmesi büyük oranda duyarlılığı artıran bir özellik olacaktır. Karayollarında gerek dinlenme tesisleri gerekse petrol istasyonları gibi ek fonksiyonların kriter olarak eklenmesi dahilinde tüm fonksiyonları ile birlikte karayollarının plan aşamasını gerçekleştirebilecektir.

Ülkemizde tüm karayolu güzergâh planları yapılırken bu sistem entegrasyonunu kullanılması hem zaman hem de maliyet açısından büyük kazanç sağlayacaktır. En önemlisi araziye çıkmadan masa başında karar verilebiliyor olması ve verilen kararın büyük oranda kullanılabilir olmasından dolayı elde edilecek kazancın miktarı hakkında fikir vermektedir. Bütün tasarım aşamaları bir araya getirilerek karar verilmesi durumunda büyük ölçüde zaman kazancı da sağlanacaktır.

Karayolu yapımından sonra çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerinin izlenmesi amacı ile karar destek sistemine ek olarak bir izleme sistemi kurulmalıdır. Karayolu çevresinin zamansal değişimi, arazi kullanımı değişimi, su kaynakları ve habitatların izlenmesi, flora ve bitki örtüsündeki zamansal değişimler, meteorolojik şartlarda meydana gelen farklılıklar ve insanların sosyal durumları ile ilgili verilerin izlenmesi, yapılan karayollarının etkilerini çok daha somut olarak ortaya koyacaktır. Dolayısıyla buradan toplanan bilgiler ışığında yeni karayolu yapımı için kullanılacak kriterler ve dikkate alınacak hususlar çok daha net bir şekilde ortaya çıkacaktır. Bu kapsamda Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yararlanmanın, ek olarak karar destek sistemleri ve uygunluk analizlerinin gerçekleştirilmesi ile birlikte gelecekte birebir kullanılabilecek ve otomatik oluşturulmuş güzergâhların çizimi mümkün hale gelebileceği öngörülmektedir. Özellikle kamulaştırma maliyetini düşürmek adına özel mülkiyetlerin, binaların ve taşınmaz tesislerin sisteme eklenmesi ile maliyet düşürücü bir kriter olarak sistem daha da genişletilebilecektir.

Uluslararası yapılan çalışmalar incelendiğinde EAMR yöntemi ile boru hatlarının, dağlık yolların, askeri ve sivil ulaşım ağlarının, özel amaçlı yolların ve karayollarının güzergâh geçirilmesi işlemlerinin yapıldığı görülmektedir. Ancak bu kapsamda en temel nokta kriterlerin belirlenmesidir. Genel olarak karayolu güzergâhları doğrudan topoğrafyaya bağlı olması nedeniyle eğim, yükseklik ve jeoloji kriterleri kullanılmıştır. Çevre kriterlerini göz önüne alan çalışmalarda ise karayolu güzergâhı için arazi kullanımı, ormanlar, habitat ve endemik bitkilerin olduğu bölgeler göz önüne alınmıştır. Ancak çok amaçlı bir güzergah tasarımı ve çevre-maliyet-sosyo yapı ilişkisini kurabilecek ve karşılaştırılmaları yapılabilecek bir güzergah tasarımı için nüfus, yerleşime yakınlık, koruma alanları, doğal afet alanları, habitat ve endemik bitkiler, göç yolları, su kaynakları ve turizm endeksleri gibi ek kriterlerin de çalışmaya dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda en detaylı çalışma Hassan ve Effat, (2013) tarafından gerçekleştirilerek güzergâhların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tez

çalışmasında ise güzergâh tanımları AHY yöntemi ile bulunan karayolu yapılmaya müsait bölgeler üzerinden güzergâh geçirilerek tartışılmıştır.

KAYNAKLAR

Abbott, I. M., Butler, F. ve Harrison, S., 2012, When flyways meet highways - The relative permeability of different motorway crossing sites to functionally diverse bat species, *Landscape and Urban Planning*, 106 (4), 293-302.

Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H. ve Matthysen, E., 2003, The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model, *Landscape and Urban Planning*, 64 (4), 233-247.

Agudelo-Castaneda, D. M., Teixeira, E. C., Schneider, I. L., Pereira, F. N., Oliveira, M. L. S., Taffarel, S. R., Sehn, J. L., Ramos, C. G. ve Silva, L. F. O., 2016, Potential utilization for the evaluation of particulate and gaseous pollutants at an urban site near a major highway, *Science of the Total Environment*, 543, 161-170.

Ahangar, F. E., Heist, D., Perry, S. ve Venkatram, A., 2017, Reduction of air pollution levels downwind of a road with an upwind noise barrier, *Atmospheric Environment*, 155, 1-10.

Ali, J., Benjaminsen, T. A., Hammad, A. A. ve Dick, O. B., 2005, The road to deforestation: An assessment of forest loss and its causes in Basho Valley, Northern Pakistan, *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 15 (4), 370-380.

Arentze, T. A. ve Timmermans, H. J. P., 2000, ALBATROSS: A Learning-based Transportation Oriented Simulation System. EIRASS, Eindhoven : EIRASS, 2000, p.

Atkinson, D. M., Deadman, P., Dudycha, D. ve Traynor, S., 2005, Multi-criteria evaluation and least cost path analysis for an arctic all-weather road, *Applied Geography*, 25 (4), 287-307.

Bagli, S., Geneletti, D. ve Orsi, F., 2011, Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts, *Environmental Impact Assessment Review*, 31 (3), 234-239.

Banister, D., 2002, Transport Planning, Second ed Spon Press, New York, p.

Barber, C. P., Cochrane, M. A., Souza, C. M. ve Laurance, W. F., 2014, Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon, *Biological Conservation*, 177, 203-209.

Batterman, S., Cook, R. ve Justin, T., 2015, Temporal variation of traffic on highways and the development of accurate temporal allocation factors for air pollution analyses, *Atmospheric Environment*, 107, 351-363.

Bertolini, M. ve Bevilacqua, M., 2006, A Combined Goal Programming-AHP Approach To Maintenance Selection Problem, *A Combined Goal Programming-AHP Approach To Maintenance Selection Problem*, 91, 839-848.

Black, W. R., 2003, Transportation: A Geographical Analysis, The Guilford Press, New York. , p.

Bottazzi, P. ve Dao, H., 2013, On the road through the Bolivian Amazon: A multi-level land governance analysis of deforestation, *Land Use Policy*, 30 (1), 137-146.

Bucur, E. ve Danet, A. F., 2016, Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Air Pollution in Areas of Bucharest with Heavy Road Traffic, *Revista De Chimie*, 67 (4), 621-625.

Calderon-Garciduenas, L. ve Villarreal-Rios, R., 2017, Living close to heavy traffic roads, air pollution, and dementia, *Lancet*, 389 (10070), 675-677.

Cavallin, A., Marchetti, M., Panizza, M. ve Soldati, M., 1994, The role of geomorphology in environmental impact assessment, *Geomorphology*, 9, 143-153.

Chen, Y., Yu, J. ve Khan, S., 2010, Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation, *Environmental Modelling & Software*, 25 (12), 1582-1591.

Chomitz, K. M. ve Gray, D. A., 1996, Roads, land use, and deforestation: A spatial model applied to belize, *World Bank Economic Review*, 10 (3), 487-512.

Clark, C., Crombie, R., Head, J., van Kamp, I., van Kempen, E. ve Stansfeld, S. A., 2012, Does Traffic-related Air Pollution Explain Associations of Aircraft and Road Traffic Noise Exposure on Childrens Health and Cognition? A Secondary Analysis of the United Kingdom Sample From the RANCH Project, *American Journal of Epidemiology*, 176 (4), 327-337.

Coffin, A. W., 2007, From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads, *Journal of Transport Geography*, 15 (5), 396-406.

Collischonn, W. ve Pilar, J. V., 2000, A directional dependent least-cost path algorithm for roads and canals, *Int. J. Geogr. Inform. Sci.*, 14 (4), 397–406.

Coria, J., Bonilla, J., Grundstrom, M. ve Pleijel, H., 2015, Air pollution dynamics and the need for temporally differentiated road pricing, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 75, 178-195.

Costa, J. F. D., 1976, Deforestation for Amazonias Roads, *Unesco Courier* (4), 34-34.

Cropper, M., Griffiths, C. ve Mani, M., 1999, Roads, population pressures, and deforestation in Thailand, 1976-1989, *Land Economics*, 75 (1), 58-73.

Cropper, M., Puri, J. ve Griffiths, C., 2001, Predicting the location of deforestation: The role of roads and protected areas in North Thailand, *Land Economics*, 77 (2), 172-186.

Datta, S., 2012, The impact of improved highways on Indian firms, *Journal of Development Economics*, 99 (1), 46-57.

Deckers, B., De Becker, P., Honnay, O., Hermy, M. ve Muys, B., 2005, Sunken roads as habitats for forest plant species in a dynamic agricultural landscape: effects of age and isolation, *Journal of Biogeography*, 32 (1), 99-109.

Deng, X. Z., Huang, J. K., Uchida, E., Rozelle, S. ve Gibson, J., 2011, Pressure cookers or pressure valves: Do roads lead to deforestation in China?, *Journal of Environmental Economics and Management*, 61 (1), 79-94.

Dijkstra, E. W., 1959, A note on two problems in connection with graphs, *Numerische Mathematik*, 1, 269–271.

Fallah-Shorshani, M., Shekarrizfard, M. ve Hatzopoulou, M., 2017, Integrating a street-canyon model with a regional Gaussian dispersion model for improved characterisation of near-road air pollution, *Atmospheric Environment*, 153, 21-31.

Farrell, W., Weichenthal, S., Goldberg, M., Valois, M. F., Shekarrizfard, M. ve Hatzopoulou, M., 2016, Near roadway air pollution across a spatially extensive road and cycling network, *Environmental Pollution*, 212, 498-507.

Feldman, S. C., Pelletier, R. E., Walser, E., Smoot, J. C. ve Ahl, D., 1996, GIS, remote sensing analysis used to select potential route, *Pipe Line Gas Ind*, 6, 52-55.

Freitas, S. R., Hawbaker, T. J. ve Metzger, J. P., 2010, Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest, *Forest Ecology and Management*, 259 (3), 410-417.

Funderburg, R. G., Nixon, H., Boarnet, M. G. ve Ferguson, G., 2010, New highways and land use change: Results from a quasi-experimental research design, *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 44 (2), 76-98.

Gaveau, D. L. A., Wich, S., Epting, J., Juhn, D., Kanninen, M. ve Leader-Williams, N., 2009, The future of forests and orangutans (Pongo abelii) in Sumatra: predicting impacts of oil palm plantations, road construction, and mechanisms for reducing carbon emissions from deforestation, *Environmental Research Letters*, 4 (3).

Gunn, J. M. ve Sein, R., 2000, Effects of forestry roads on reproductive habitat and exploitation of lake trout (Salvelinus namaycush) in three experimental lakes, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 97-104.

Hassan, O. ve Effat, H., 2013, Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least –cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16 (141-151).

Henson, R. P., Culaba, A. B. ve Mendoza, G. A., 2002, Evaluating Environmental Performance Of Pulp And Paper Manufacturing Using The Analytic Hierarchy Processand Life-Cycle Assessment, *Journal of Industrial Ecology*, 6 (1), 15-28.

Ho, W., Xu, X. W. ve Dey, P. K., 2010, Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 202 (1), 16-24.

Holderegger, R. ve Giulio, D. M., 2010, The genetic effects of roads: A review of empirical evidence. , *Basic and Applied Ecology*, 11 (6), 522-531.

Hu, H. F., Li, T. Z. ve Chen, X. D., 2017, The concentration distribution of exposures to particulate air pollution on different road sections, *World Conference on Transport Research - Wctr 2016*, 25, 3347-3357.

Hwang, C., L., ve Yoon, K., 1981, Multiple Attribute Decision Making—Methods and Applications, *Springer-Verlag, Heidelberg*.

Jandacka, D., Durcanska, D. ve Bujdos, M., 2017, The contribution of road traffic to particulate matter and metals in air pollution in the vicinity of an urban road, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 50, 397-408.

Joerin, F., Theriault, M. ve Musy, A., 2001, Using GIS and outranking multi-criteria analysis for land-use suitability assessment, *Int. J. Geogr. Inform. Sci.*, 15 (2), 153–174.

Jung, S., Lee, C. M. ve Kwon, T. S., 2013, Effects of Forest Roads on Hemipteran Diversity in Mt. Gariwang, Korea Test of Intermediate Disturbance Hypothesis, *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 6 (2), 239-248.

Kara, F. ve Usul, N., 2012, Highway Route Design Through The Use of GIS and Multicriteria Analysis: A Case Study Of Istanbul, *Ozean Journal of Applied Sciences*, 5 (1), 71-84.

Keller, I., Nentwig, W. ve Largiader, C. R., 2004, Recent habitat fragmentation due to roads can lead to significant genetic differentiation in an abundant flightless ground beetle, *Molecular Ecology*, 13 (10), 2983-2994.

Kodavanti, U. P., 2015, Air Pollution and Insulin Resistance: Do All Roads Lead to Rome?, *Diabetes*, 64 (3), 712-714.

Lambertucci, S. A., Speziale, K. L., Rogers, T. E. ve Morales, J. M., 2009, How do roads affect the habitat use of an assemblage of scavenging raptors?, *Biodiversity and Conservation*, 18 (8), 2063-2074.

Lanki, T., Hampel, R., Tiittanen, P., Andrich, S., Beelen, R., Brunekreef, B., Dratva, J., De Faire, U., Fuks, K. B., Hoffmann, B., Imboden, M., Jousilahti, P., Koenig, W., Mahabadi, A. A., Kunzli, N., Pedersen, N. L., Penell, J., Pershagen, G., Probst-Hensch, N. M., Schaffner, E., Schindler, C., Sugiri, D., Swart, W. J. R., Tsai, M. Y., Turunen, A. W., Weinmayr, G., Wolf, K., Yli-Tuomi, T. ve Peters, A., 2015, Air Pollution from Road Traffic and Systemic Inflammation in Adults: A Cross-

Sectional Analysis in the European ESCAPE Project, *Environmental Health Perspectives*, 123 (8), 785-791.

Lee, J. ve Stucky, D., 1998, On applying viewshed analysis for determining least-cost paths on Digital Elevation Models, *International Journal of Geographical Information Science*, 12 (8), 891-905.

Lewis, J. S., Rachlow, J. L., Horne, J. S., Garton, E. O., Wakkinen, W. L., Hayden, J. ve Zager, P., 2011, Identifying habitat characteristics to predict highway crossing areas for black bears within a human-modified landscape, *Landscape and Urban Planning*, 101 (2), 99-107.

Li, M., De Pinto, A., Ulimwengu, J. M., You, L. Z. ve Robertson, R. D., 2015, Impacts of Road Expansion on Deforestation and Biological Carbon Loss in the Democratic Republic of Congo, *Environmental & Resource Economics*, 60 (3), 433-469.

Lyon, L. J., 1983, Road Density Models Describing Habitat Effectiveness for Elk, *Journal of Forestry*, 81 (9), 592-&.

Macala, J., Koscova, M., Carach, V., Corba, J. ve Corba, J., 2015, Modelling of Air Pollution by Road Traffic Nox Emissions from Passenger Cars, *Energy and Clean Technologies*, 977-984.

Mader, H. J., 1984, Animal Habitat Isolation by Roads and Agricultural Fields, *Biological Conservation*, 29 (1), 81-96.

Malczewski, J., 1999, Spatial multicriteria decision analysis, part 1 in decision making and analysis: A geographic information sciences approach, New York: Wiley, p.

Mammides, C., Kadis, C. ve Coulson, T., 2015, The effects of road networks and habitat heterogeneity on the species richness of birds in Natura 2000 sites in Cyprus, *Landscape Ecology*, 30 (1), 67-75.

Marsack, K. ve Swanson, B. J., 2009, A Genetic Analysis of the Impact of Generation Time and Road-Based Habitat Fragmentation on Eastern Box Turtles (Terrapene c. carolina), *Copeia* (4), 647-652.

Millet, I., 1998, Ethical Decision Making Using The Analytic Hierarchy Process, *Journal of Business Ethics*, 17, 1197-1204.

Mittal, S., Hanaoka, T., Shukla, P. R. ve Masui, T., 2015, Air pollution co-benefits of low carbon policies in road transport: a sub-national assessment for India, *Environmental Research Letters*, 10 (8).

Moonen, P. C. J., Verbist, B., Schaepherders, J., Meyi, M. B., Van Rompaey, A. ve Muys, B., 2016, Actor-based identification of deforestation drivers paves the road to effective REDD plus in DR Congo, *Land Use Policy*, 58, 123-132.

Morelli, F., Beim, M., Jerzak, L., Jones, D. ve Tryianowski, P., 2014, Can roads, railways and related structures have positive effects on birds? – A review, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 30, 21-31.

Nader, M., F., , 2006, Computers and Communication Networks, Prentice Hall, p.

Nelson, G. ve Hellerstein, D., 1995, Do roads cause deforestation?: Using satellite images in econometric analysis of land use, *American Journal of Agricultural Economics*, 77 (5), 1385-1385.

Nelson, G. C. ve Hellerstein, D., 1997, Do roads cause deforestation? Using satellite images in econometric analysis of land use, *American Journal of Agricultural Economics*, 79 (1), 80-88.

Newman, M. E., McLaren, K. P. ve Wilson, B. S., 2014, Assessing deforestation and fragmentation in a tropical moist forest over 68 years; the impact of roads and legal protection in the Cockpit Country, Jamaica, *Forest Ecology and Management*, 315, 138-152.

Nowakowska-Grunt, J. ve Strzelczyk, M., 2016, Problem of air pollution and road freight in European Union, *2nd International Conference Green Cities - Green Logistics for Greener Cities*, 16, 418-424.

Opricovic, S., 1998, Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems, *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*.

Opricovic, S. ve Tzeng, G. H., 2004, Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 445-455.

Ortega, Y. K. ve Capen, D. E., 1999, Effects of forest roads on habitat quality for ovenbirds in a forested landscape, *Auk*, 116 (4), 937-946.

Öztürk, D. ve Batuk, F., 2010, Mekânsal Karar Problemleri İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Ölçütlü Karar Analizinin Bütünleştirilmesi: TOPSIS Yöntemi. 2nd International Symposium on Information Management in the Changing World. Ankara, Türkiye.

Pattinson, W., Longley, I. ve Kingham, S., 2014, Using mobile monitoring to visualise diurnal variation of traffic pollutants across two near-highway neighbourhoods, *Atmospheric Environment*, 94, 782-792.

Patton, A. P., Perkins, J., Zamore, W., Levy, J. I., Brugge, D. ve Durant, J. L., 2014, Spatial and temporal differences in traffic-related air pollution in three urban neighborhoods near an interstate highway, *Atmospheric Environment*, 99, 309-321.

Pfaff, A., Robalino, J., Walker, R., Aldrich, S., Caldas, M., Reis, E., Perz, S., Bohrer, C., Arima, E., Laurance, W. ve Kirby, K., 2007, Roads and deforestation in the Brazilian Amazon, *Journal of Regional Science*, 47 (1), 109-123.

Redon, L., Le Viol, I., Jiguet, F., Machon, N., Scher, O. ve Kerbiriou, C., 2015, Road network in an agrarian landscape: Potential habitat, corridor or barrier for small mammals?, *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 62, 58-65.

Rees, W. G., 2004, Least-cost paths in mountainous terrain, *Computers & Geosciences*, 30 (3), 203-209.

Rescia, A. J., Astrada, E. N., Bono, J., Blasco, C. A., Meli, P. ve Adamoli, J. M., 2006, Environmental analysis in the selection of alternative corridors in a long-distance linear project: A methodological proposal, *Journal of Environmental Management*, 80 (3), 266-278.

Rooshdi, R. R. R. M., Rahman, N. A., Baki, N. Z. U., Majid, M. Z. A. ve Ismail, F., 2014, An Evaluation of Sustainable Design and Construction Criteria for Green Highway, *Procedia Environmental Sciences*, 20, 180-186.

Saaty, T., L., , 2001, Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, 2nd edition, PRWS Publications, p.

Saaty, T. L., 1977, A scaling method for priorities in hierarchical structures. , *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234–281.

Saaty, T. L., 1980, The analytical hierarchy process, New York: Wiley., p.

Saaty, T. L. ve Vargas, L. G., 1991, Prediction, Projection and Forecasting, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, , p.

Saaty, T. L., 1994, Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With The Analytical Hierarchy Process, *RWS Publ. Pittsburg*, 69-84.

Sakthivel, G., Ilangkumaran, M. ve Gaikwad, A., 2015, A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANP-TOPSIS analysis, *Ain Shams Engineering Journal*, 6 (1), 239-256.

Saunders, S. C., Mislivets, M. R., Chen, J. Q. ve Cleland, D. T., 2002, Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA, *Biological Conservation*, 103 (2), 209-225.

Schweikert, A., Chinowsky, P., Espinet, X. ve Tarbert, M., 2014, Climate change and infrastructure impacts: comparing the impact on roads in ten countries through 2100, *Humanitarian Technology: Science, Systems and Global Impact 2014, (Humtech2014)*, 78, 306-316.

Stefanakis, E. ve Kavouras, M., 1995, On the determination of the optimum path in space. In: Proceedings of the European Conference on Spatial Information Theory, COSIT 95, *Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin.*

Tan, J. S. ve Leong, H. W., 2004, Least-cost path in public transportation systems with fare rebates that are path- and time-dependent, *Itsc 2004: 7th International Ieee Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings*, 1000-1005.

Tanga. K. X. ve Waters, N. M., 2005, The internet, GIS and public participation in transportation planning, *Progress in Planning*, 64, 7–62.

Teng, M., Wu, C., Zhou, Z., Lord, E. ve Zheng, Z., 2011, Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model, *Landscape and Urban Planning*, 103 (1), 1-14.

Triantaphyllou, E. ve Mann, S. H., 1995, Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges, *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, 2 (1), 35-44.

Ulengin, F., Kabak, O., Onsel, S., Ulengin, B. ve Aktas, E., 2010, A problem-structuring model for analyzing transportation–environment Relationships, *European Journal of Operational Research*, 200, 844–859.

Vahapoğlu, E. Ö., 2008, Bir Dış Ticaret Firmasının İl ve Bölge Bazında Temsilci Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması, *Gazi Üniversitesi* Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Votsi, N. E., Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., Zomeni, M. S., Vogiatzakis, I. N., Sgardelis, S. P. ve Pantis, J. D., 2012, Road effects on habitat richness of the Greek Natura 2000 network, *Nature Conservation-Bulgaria* (1), 53-71.

Wang, A., Fallah-Shorshani, M., Xu, J. S. ve Hatzopoulou, M., 2016, Characterizing near-road air pollution using local-scale emission and dispersion models and validation against in-situ measurements, *Atmospheric Environment*, 142, 452-464.

Wang, F., Hall, G. B. ve Subaryono, 1990, Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: data base design and applications, *Int. J. Geogr. Inform. Syst*, 4 (3), 261–283.

Wang, Y. M. ve Elhag, T. M. S., 2006, Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment, *Expert Systems with Applications*, 31 (2), 309-319.

Wind, Y. ve Saaty, T. L., 1980, Marketing Applications Of The Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 26 (7), 641-658.

Witmer, G. W. ve Decalesta, D. S., 1985, Effect of Forest Roads on Habitat Use by Roosevelt Elk, *Northwest Science*, 59 (2), 122-125.

Wu, C. F., Lin, Y. P., Chiang, L. C. ve Huang, T., 2014, Assessing highway's impacts on landscape patterns and ecosystem services: A case study in Puli Township, Taiwan, *Landscape and Urban Planning*, 128, 60-71.

Yazdi, M. N., Delavarrafiee, M. ve Arhami, M., 2015, Evaluating near highway air pollutant levels and estimating emission factors: Case study of Tehran, Iran, *Science of the Total Environment*, 538, 375-384.

Yu, C. Q., Lee, J. ve Munro-Stasiuk, M. J., 2003, Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning, *International Journal of Geographical Information Science*, 17 (4), 361-376.

Yu, P. L., 1973, A class of solutions for group decision problems, *Management Science*, 19 (8), 936–946.

Yusof, K. W. ve Baban, S., 2004, Least-cost pipeline path to the Langkawi Island, Malaysia using a geographical information system (GIS). In: Proceedings of Map India Conference. India.

Zhang, H., Wang, Z. F., Zhang, Y. L., Ding, M. J. ve Li, L. H., 2015, Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai-Tibet highway, *Science of the Total Environment*, 521, 160-172.

Zolekar, R. B. ve Bhagat, V. S., 2015, Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach, *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 300-321.