T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ NAKİL HATTI GÜZERGÂHLARININ MEKÂNSAL KARAR VERME TEKNİKLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Onur SELEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı

Danışman

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Ekim, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ NAKİL HATTI GÜZERGÂHLARININ MEKÂNSAL KARAR VERME TEKNİKLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Onur SELEN tarafından hazırlanan tez çalışması 21/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Fatih GÜLGEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Enerji Nakil Hattı Güzergâhlarının Mekânsal Karar Verme Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Onur SELEN

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Fatih GÜLGEN'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Arş. Gör. Batuhan KILIÇ başta olmak üzere Harita Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan bu hayattaki en büyük mirasım, aileme sonsuz teşekkür ederim.

Onur SELEN

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER vi
SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 17
1.1 Literatür Özeti 19
1.2 Tezin Amacı 21
1.3 Hipotez 21
2 TEMEL KAVRAMLAR 23
2.1 Enerji Nakil Hattı 23
2.1.1. Teknik Standartlar 25
2.2 Çok Kriterli Karar Verme 28
2.2.1 AHP'nin matematiksel modeli 30
2.3 Dijkstra (En kısa yol) Algoritması 33
3 MATERYAL VE YÖNTEM 35
3.1 Çalışma Bölgesi 35
3.2 Veri Seti 36
3.3 AHP Modeli 42
3.4 AHP için Uzman Görüşlerinin Toplanması 45
3.5 Kriterlere ait vektör verilerin işlenmesi 49
3.6 Kriterlere ait yeniden sınıflandırılmış raster haritaların üretilmesi 60
3.7 Ağırlıklı maliyet haritasının (AMH) oluşturulması 71
3.8 ENH tasarımı için en az maliyetli güzergâhın belirlenmesi 72
3.9 ENH tasarımı için alternatif güzergâhın belirlenmesi 77
4 BULGULAR VE TARTIŞMA 80
4.1 Güzergâh hatlarının karşılaştırmalı analizi 80
4.1.1 Ağırlıklandırılmış maliyet haritası üzerinden geçiş maliyet değerlerinin karşılaştırılması 80

4.1.2 ENH güzergâhına etki eden kriterler ile uyumluluk düzeyinin belirlenmesi 82
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **94**
5.1 Sonuç 95
5.2 Öneriler 95
KAYNAKÇA **97**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **101**

SİMGE LİSTESİ

w	Ağırlık
∑	Toplam

KISALTMA LİSTESİ

AAS	Analitik Ağ Süreci
ABC	Yapay Arı Kolonisi
AG	Alçak Gerilim
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AMH	Ağırlıklandırılmış Maliyet Haritası
BES	Biyokütle Enerji Sistemleri
CBS	Coğrafi Bilgi Sitemleri
CORINE	Çevresel Bilginin Koordinasyonu
ÇES	Çoklu Etmen Sistemi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
EKAT	Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri
ENH	Enerji Nakil Hattı
EÜAŞ	Elektrik Üretim A.Ş.
FA	Faktör Ağırlıklandırma
FIS	Bulanık Arayüz Sistemi
GA	Genetik Algoritma
GES	Güneş Enerji Sistemleri
HES	Hidroelektrik Sistemleri
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
İTM	İndirici Trafo Merkezi
JES	Jeotermal Enerji Sistemleri
MTA	Maden Tektik ve Arama
OG	Orta Gerilim
RES	Rüzgâr Enerji Sistemleri
R_i	Rastgele İndeks
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
T_i	Tutarlılık İndeksi
T_O	Tutarlılık Oranı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YES	Yenilenebilir Enerji Sistemleri

WSM	Ağırlıklı Toplam Model

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Güç sistemlerinin genel yapısı (Kishore ve Singal, 2014) 24
Şekil 3. 1 Çalışma alanı 35
Şekil 3. 2 ENH güzergâh tespiti analizinde çalışma bölgesi sınırları.....36
Şekil 3. 3 1:25K ölçekli topografik veri setlerine ait genel görünüm 38
Şekil 3. 4 Türetilen 10 m çözünürlüğe sahip SAM 39
Şekil 3. 5 Çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası.....40
Şekil 3. 6 Planlanan güzergâh ve çevresine ait kadastro altlık haritası.....41
Şekil 3. 7 Çalışma bölgesine ait CORINE haritası. 42
Şekil 3. 8 AHP modeli.....43
Şekil 3. 9 Ana kriterlere ait ağırlık düzeyleri (w) 47
Şekil 3. 10 Zemin yapısına ait vektör veriler.....50
Şekil 3. 11 Mülkiyet durumuna ait vektör veriler.....51
Şekil 3. 12 İzin alma kolaylığı alt kriterine ait vektör veriler.....52
Şekil 3. 13 İşletme kolaylığı alt kriterine ait eğim haritası 53
Şekil 3. 14 İşletme kolaylığı alt kriterine ait yol detayları 54
Şekil 3. 15 Ekonomik ömür alt kriterine ait bakı haritası 55
Şekil 3. 16 Teknik standartlar alt kriterine ait buz yükü haritası.....56
Şekil 3. 17 Teknik standartlar alt kriterine ait heyelan haritası.....57
Şekil 3. 18 Teknik standartlar alt kriterine ait su kütleleri haritası.....58
Şekil 3. 19 Çalışma bölgesindeki altyapı ve üstyapı tesisleri 59
Şekil 3. 20 Çalışma bölgesindeki yerleşim alanları.....60
Şekil 3. 21 Yeniden sınıflandırılmış zemin yapısı kriteri.....61
Şekil 3. 22 Yeniden sınıflandırılmış mülkiyet durumu kriteri.....62
Şekil 3. 23 Yeniden sınıflandırılmış izin alma kolaylığı kriteri 63
Şekil 3. 24 Yeniden sınıflandırılmış eğim kriteri 64
Şekil 3. 25 Yeniden sınıflandırılmış yol kriteri 65
Şekil 3. 26 Yeniden sınıflandırılmış bakı kriteri 66
Şekil 3. 27 Yeniden sınıflandırılmış buz yükü kriteri.....67
Şekil 3. 28 Yeniden sınıflandırılmış heyelan kriteri.....68
Şekil 3. 29 Yeniden sınıflandırılmış geniş vadi atlaması kriteri 69
Şekil 3. 30 Yeniden sınıflandırılmış altyapı ve üstyapı kriterleri.....70
Şekil 3. 31 Yeniden sınıflandırılmış sosyal çevre kriteri 70

Şekil 3. 32 Yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım kriteri.....71
Şekil 3. 33 Çalışma bölgesinin ağırlıklandırılmış maliyet haritası 72
Şekil 3. 34 ENH güzergâhının planlanma modeli (Yıldırım, 2009) 73
Şekil 3. 35 Maliyetli mesafe algoritmasının çalışma prensibi (Yıldırım, 2009; Eroğlu, 2014) 74
Şekil 3. 36 Ağırlıklandırılmış maliyet haritası (sol) ve biriktirilmiş maliyet haritası (sağ) (Eroğlu, 2014) 75
Şekil 3. 37 ENH güzergâh geçişini gösteren örnek yön katmanı (Yıldırım, 2009)75
Şekil 3. 38 ENH üretilen ve mevcut güzergâh gösterimi 76
Şekil 3. 39 ENH güzergâhı boyunca hattın kırılma yaptığı örnek alanlar 77
Şekil 3. 40 Douglas-Peucker algoritmasının çalışma prensibi (Şahbaz, 2014)....78
Şekil 3. 41 Douglas-Peucker algoritması ile elde edilen yeni güzergâhlar ve mevcut güzergâh 79
Şekil 4. 1 Zemin yapısı için güzergâhta kaçınılan alanlar.....83
Şekil 4. 2 Mülkiyet durumu için güzergâhta kaçınılan alanlar 84
Şekil 4. 3 İzin alma kolaylığı için güzergâhta kaçınılan alanlar.....85
Şekil 4. 4 Eğim için güzergâhta kaçınılan alanlar.....86
Şekil 4. 5 Yol kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar.....87
Şekil 4. 6 Bakı kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar 88
Şekil 4. 7 Buz yükü bölgeleri kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar.....89
Şekil 4. 8 Geniş vadi atlaması kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar.....90
Şekil 4. 9 Altyapı-Üstyapı kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar 91
Şekil 4. 10 Sosyal çevre kriterine ait her iki güzergâh hattının örnek geçiş alanları 92
Şekil 4. 11 Arazi kullanım kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar 93

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 Ülkelerin ENH inşası için kullanılan standartları (Kishore ve Singal, 2014).....25
Tablo 2. 2 AHP için ikili karşılaştırma ölçeği.....30
Tablo 2. 3 AHP için ikili karşılaştırma matrisi.....31
Tablo 2. 4 Rastgele indeks.....32
Tablo 3. 1 Veri seti.....37
Tablo 3. 2 Tutarlı katılımcı oranları.....45
Tablo 3. 3 Alt kriterlere ait ağırlıklar.....47
Tablo 3. 4 Alt kriterlere ait normalize edilmiş ağırlıklar.....48
Tablo 4. 1 Güzergah hatlarının geçiş maliyetlerine göre tanımlayıcı istatistik bilgileri.....81
Tablo 4. 2 Zemin yapısı kriterine ait istatistik sonuçlar.....82
Tablo 4. 3 Mülkiyet durumu kriterine ait istatistik sonuçlar.....83
Tablo 4. 4 İzin alma kolaylığı kriterine ait istatistik sonuçlar.....84
Tablo 4. 5 Eğim kriterine ait istatistik sonuçlar.....85
Tablo 4. 6 Yol kriterine ait istatistik sonuçlar.....86
Tablo 4. 7 Bakı kriterine ait istatistik sonuçlar.....87
Tablo 4. 8 Buz yükü kriterine ait istatistik sonuçlar.....88
Tablo 4. 9 Heyelan kriterine ait istatistik sonuçlar.....89
Tablo 4. 10 Geniş vadi atlaması kriterine ait istatistik sonuçlar.....90
Tablo 4. 11 Altyapı-Üstyapı kriterine ait istatistik sonuçlar.....91
Tablo 4. 12 Sosyal çevre kriterine ait istatistik sonuçlar.....92
Tablo 4. 13 Arazi kullanım kriterine ait istatistik sonuçlar.....93

ÖZET

Enerji Nakil Hattı Güzergâhlarının Mekânsal Karar Verme Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi

Onur SELEN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Enerji, günümüzde artan teknolojik gelişmeler ile birlikte gündelik hayatımızın vazgeçilmez ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Nüfusun artışına paralellik göstererek her geçen gün sayıları artan endüstriyel sanayi, tarım ve hayvancılık gibi üretim odaklı birçok sektörde enerjiye olan talep hızla artmaktadır. İhtiyacı karşılayabilmek için yeni enerji üretim tesisleri ve bu tesislerde üretilen enerjiyi kullanıcılara ulaştırmak için yeni enerji nakil hatları gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, enerji nakil hatları için uygun güzergâhların belirlenmesi, zaman, kalite ve maliyet yönetimi açısından değerlendirilmiştir. Belirlenen bu ana kriterlere etki oranı daha yüksek olan alt kriterler belirlenerek bir hiyerarşi yapısı oluşturulmuştur. Enerji nakil hattı güzergâhı belirlenmesi planlama, projelendirme, tesis ve işletme alanlarında uzmanların görüşleri alınarak, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi süreci ile öngörülen kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlıklara göre bir maliyet yüzeyi oluşturularak coğrafi bilgi sistemi tabanlı yazılımlar yardımıyla tüm kriterlere dikkat edilerek en kısa güzergâh belirlenmiştir. Fakat yazılımlar yardımıyla türetilen bu güzergâh, nakil hattı inşasını zorlaştıran çok sayıda

doğru parçasından oluşmaktadır. Bu parçaları oluşturan kırık noktaların sayısı kartografik çizgi basitleştirme yaklaşımlarından biri olan Douglas-Peucker algoritması ile indirgenmiştir. Böylece enerji nakil hattı güzergâhı için uygun bir hat oluşturulmuştur. Tasarlanan bu güzergâh, son aşamada bölge için daha önce planlanmış olan güzergâh ile karşılaştırılmıştır.

Tasarlanan güzergâh çevre ile uyumlu olup, toprak yönetimine ve yerleşim yerlerinin dağılış yönlerine azami uyum göstermektedir. Sosyal çevre ve sivil toplum kuruluşları tarafından kabul edilebilir, mali açıdan uygulanabilir, kesintisiz ve sürdürülebilir enerji temini sağlamaya elverişli bir güzergâh elde edilmiştir. Son olarak elde edilen güzergâh dağıtım şirketi tarafından aynı bölgede oluşturulan güzergâh ile karşılaştırılmıştır. Kıyasla daha kısa olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji nakil hattı, çok kriterli karar verme, analitik hiyerarşi süreci, coğrafi bilgi sistemleri, güzergâh belirleme

ABSTRACT

Determination of Energy Transmission Line Routes Using Spatial Decision Making Techniques

Onur SELEN

Department of Geomatics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Energy has become one of the indispensable needs of our daily lives with the increasing technological developments. In parallel with the increase in population, the demand for energy is increasing rapidly in many production-oriented sectors such as industrial industry, agriculture and animal husbandry. In order to meet the need, new energy production facilities and new energy transmission lines are required to deliver the energy produced in these facilities to the users.

In this thesis, determination of suitable routes for energy transmission lines has been evaluated in terms of time, quality and cost management. A hierarchical structure was created by determining the sub-criteria with a higher impact rate on these main criteria. The weights of the criteria predicted by the analytical hierarchy process, which is one of the multi-criteria decision-making methods, were calculated by taking the opinions of experts in the fields of planning, project design, facility and operation of the energy transmission line route. By creating a cost surface according to the weights obtained, the shortest route was determined by paying attention to all criteria with the help of software based on

geographic information systems. However, this route, which is derived with the help of software, consists of many line segments, which complicates the construction of the transmission line. The number of broken points forming these parts is reduced by Douglas-Peucker algorithm, which is one of the cartographic line simplification approaches. Thus, a suitable line was created for the energy transmission line route. This designed route was compared with the previously planned route for the region in the final stage.

The designed route is in harmony with the environment and shows maximum compliance with the land management and the distribution directions of the settlements. A route that is acceptable to the social environment and non-governmental organizations, financially feasible, and suitable for providing uninterrupted and sustainable energy supply has been achieved. Finally, the route obtained was compared with the route created by the distribution company in the same region. It was obtained shorter in comparison.

Keywords: Energy transmission line, multi–criteria decision-making, analytic hierarchy process, geographic information systems, route determination

1
GİRİŞ

Gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan elektrik enerjisi, üretiminden tüketicisine ulaşana kadar birden fazla süreçten geçmektedir. Küresel enerji kaynaklarının %88,3'ünün fosil yakıtlardan elde edildiği günümüzde, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için yenilenebilir enerji sistemleri (YES) önemli alternatiflerden biridir (BP Stats, 2021). YES, sürdürülebilirliğe sahip olan ve doğal kaynaklardan elde edilen sistemleri içerir. Güneş enerji sistemleri (GES), rüzgâr enerji sistemleri (RES), hidroelektrik enerji sistemleri (HES), biyokütle enerji sistemleri (BES), jeotermal enerji sistemleri (JES) gibi kullanım türlerine göre çeşitli enerji kaynakları YES içerisinde yer alır.

Günümüzde ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma açısından en önemli sorunu ucuz, temiz, güvenilir ve kolay elde edilebilen enerji kaynaklarını temin etmektir. Dünyada artan nüfus, şehirleşme ve endüstrileşme uzun yıllardır fosil yakıtlar tarafından karşılanan enerji gereksinimini daha da fazlalaştırmaktadır. Teknolojik cihazların insan hayatının her alana girmesine paralel olarak elektrik enerjisine olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Düzensiz şehirleşmeye bağlı olarak enerji iletim ve dağıtım şebekelerindeki yetersizlikler de enerji kayıplarını ortaya çıkartmaktadır. En önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması, jeopolitik gelişmelere bağlı olarak fiyatlarındaki artış eğilimi, yanmaları sonucu ortaya çıkan gazların insan sağlığını ve ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkilemesi ülkeleri alternatif ve verimli enerji kaynakları bulmaya yöneltmektedir (Öztürk, 2021). Gelecekte çevreye verilecek zararı azaltmak için enerji politikalarının belirlenmesinde enerji ve çevre faktörlerinin bir arada değerlendirilmesi gerekir (Kumbur, 2005). Bu kapsamda fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon gazı salınımının azaltılması için Dünya genelinde birçok ülke YES'lere geçiş sürecini hızlandırmıştır. Günümüzde Türkiye'de YES'lerden üretilen enerjinin payı Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) resmi internet sitesinde paylaşılan verilere göre %44 oranına erişmiştir (TEİAŞ, 2022a).

Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, olumsuz çevresel etkileri en düşük seviyelerde tutmak ve enerjiye olan erişimi kolaylaştırmak Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için stratejik bir hedeftir. Sayıları her geçen gün hızla artan YES'lerde üretilen enerjinin son tüketiciye ulaştırılması için verimli Enerji Nakil Hattı (ENH) şebekelerine ihtiyaç duyulur. ENH, üretim santralinden elektriği alarak tüketim yapılacak noktaya ulaştırmak için kurulan bağlantı olarak tanımlanır. Tesis planlaması, sürdürülebilir, kaliteli ve düşük maliyetli ENH güzergâhının oluşturulması için en önemli aşamadır. Çevresel, ekonomik, sosyal, teknik etkenler dikkate alınarak en uygun ENH güzergâhlarının belirlenmesi planlama aşamasında gerçekleştirilir. Ülkemizde proje firmalarının ve elektrik dağıtım şirketlerinin bünyesinde görev yapan proje mühendisleri planlama aşamasında ENH güzergâhlarının belirlemek için 1:25K ölçekli basılı haritaları ve Google Earth gibi daha düşük mekânsal çözünürlüğe sahip altlıklar kullanmaktadır. Bu araçlar kullanılarak belirlenen güzergâh boyunca arazide yapılan, kotlu planlar üzerinden nihai güzergâh kesinleştirilmektedir. Planlama düşük çözünürlüklü veriler üzerinden yapıldığından arazi ölçüleri aşaması tekrarlı hale gelebilmekte ve uzun süre almaktadır. Ayrıca ilk plan aşamasında zemin yapısının doğru analiz edilemediğinden ve mülkiyet durumu ile ilgili çalışmalar önceden yapılmadığından nihai süreç çok fazla uzayabilmektedir. İlk belirlenen güzergâh için kullanılan raster haritalardaki detayların yetersizliği, teknik standartlara uymayan, işletme kolaylığı açısından yetersiz, altyapı ve üstyapı tesisleri ile uyumsuz ve ekonomik ömrü kısa hatların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

ENH tesis edilirken belirli kriterler tesis edilme zamanına doğrudan etki etmektedir. Şirketler belirli bir program dâhilinde kendi bünyesinde veya yüklenici firmalar eliyle ENH tesisini gerçekleştirmektedir. Enerji ihtiyacı olan abonelerin ise kısa sürede elektriğe ulaşma eğilimi göz önünde bulundurulduğunda bir ENH'ın ne sürede yapıldığı öne çıkan bir kriter olmaktadır.

Proje yönetiminde zaman kriteri maliyet ile doğrudan ilişkilidir. İşin yapılma ve faaliyete geçme süreleri o işle ilgili işçilik giderlerini etkiler. Tesisin faaliyete

geçmesi halinde enerji üretimi yapan, iletim ve dağıtım görevlerini yerine getiren şirketlerin yaptıkları yatırımlar karşılığında elde edecekleri kazanç önem kazanır.

ENH planlamasında somut ve soyut kavramların bir arada değerlendirilmesi, birden fazla kriterin göz önünde bulundurulması sürdürebilirlik açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma planlama aşamasında farklı kriterleri analiz ederek teknik standartlara uygun, uygulanabilir ve son kullanıcının beklentisini karşılayacak koşulları ortaya çıkartmayı hedeflemektedir. Böylece az maliyetli, işletmesi kolay, sürdürülebilir, kısa ve uzun vadede maliyeti düşük bir ENH planlanması yapılabilir.

1.1 Literatür Özeti

Monteiro vd. (2005), ENH güzergâhlarının belirlenmesi için coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında dinamik programlama modelini kullanan otomatik rota seçimine dayalı bir yöntem önermiştir. Demircan (2009), çoklu etmen sistemi (ÇES) (Stone ve Veloso, 2000) kullanarak çalışmış, Electric Power Research Institute (EPRI) (Houston ve Johnson, 2006) raporu ile kriterler belirlemiş ve en kısa yol bulma algoritmalarını kullanarak ENH güzergâhlarını belirlemiştir. Wang vd. (2011), robotların en uygun yolu belirlemesi için Dijkstra (1959) algoritmasından yararlanmıştır. Başlak (2013), önceden belirlenmiş ENH koridorlarını analitik hiyerarşi prosesi (AHP) (Saaty, 1980) ile değerlendirmiştir. Eroğlu ve Aydın (2015), ENH güzergâh belirleme çalışmalarında kullanılan düşük maliyetli yol ve mesafe maliyeti analizi yaklaşımlarını AHP kullanarak bir arada değerlendirmiştir. Baysal vd. (2015), analitik ağ süreci (AAS) (Saaty, 2005) kullanarak alternatif koridorlar oluşturmuş ve faktör ağırlıklandırma (FA) (Houston ve Johnson, 2006) yöntemi ile en uygun güzergâhı belirlemeye çalışmıştır. Lima vd. (2016), topografik veri kaynaklarından belirlenen güzergâhlara alternatif olarak CBS ortamında AHP ile kriterleri ağırlıklandırmış ve raster verilerden map algebra (Tomlin, 1990) ile maliyet yüzeyi oluşturmuştur. Düşük maliyetli güzergâhı bu yüzey üzerinden Dijkstra algoritması ile belirlemiştir. Veronesi vd. (2017), planlama aşamasında insan kaynaklı hataların ortadan kaldırmak için kriterleri ağırlıklandırmış ve

oluşturduğu rastgele noktalar arasında bağlantıları istatiksel analizler ile karşılaştırmıştır. Eroğlu ve Aydın (2018), maliyet mesafesi ve maliyet yolu araçları ile piksel bazlı olarak ağırlıklandırılmış haritalar üzerinden genetik algoritma (GA) (Holland, 1992) ve yapay arı kolonisi (ABC: Artificial Bee Colony) (Karaboga, 2005) algoritmalarını kullanılarak ENH güzergâhını belirlemiştir. İki algoritma yardımıyla tespit edilen güzergâhları karşılaştırmış ve ABC'nin GA'ya göre tasarıma daha uygun güzergâhlar oluşturduğunu belirtmiştir. Santos vd. (2019), ENH tesisine karar verme sürecinde coğrafi, mühendislik ve maliyet süreçlerini dikkate alarak yeni bir yaklaşım sunmuştur. Yüksek gerilim seviyesinde iletim hattı tasarımı için Graf üzerinden Dijkstra algoritmasını kullanmış ve mevcut iletim hattından daha düşük maliyete sahip bir güzergâh elde etmiştir. Khan vd. (2019), güzergâh belirleme sürecine etki eden kriterleri belirlemeyi hedeflemiştir. Mühendislik tasarımı açısından ekonomik, sosyal ve çevresel faktörleri dikkate alarak bir sınıflandırma sistemi oluşturmuş, görüntü işleme teknikleri ile ağırlıklı toplam model (Weighted Sum Model – WSM) (Fishburn, 1967) yaklaşımlarını kullanarak süreci otomatikleştirecek bir yöntem önermiştir. Zipf vd. (2019), uzun mesafelerde ENH'lar için karmaşık ortamda sosyal, ekolojik, ekonomik ve teknik boyutları içeren bir kriter tespit çalışması yapmıştır. Khan vd. (2020), CBS ve bulanık arayüz sistemi (FIS-Fuzzy Inference System) (Jang, 1993) kullanarak bir ENH için farklı rota seçeneklerini içeren otomatik çıkarım yaklaşımı önermiştir. Bir çalışma bölgesinde elde ettikleri sonuçları inceleyerek projenin endüstriyel sonuçları ile karşılaştırma yapmış ve önerilen yöntemin verimliliğini değerlendirmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların tamamı en kısa ENH güzergâhını belirlemeyi amaçlamıştır. Kısa sürede, çevresel şartlara ve mühendislik tekniklerine uyumlu güzergâhlar belirlemek temel yaklaşım olmuştur. Literatür çalışmaları sosyal alanlara olumsuz etkisi az olan, mühendislik standartlarını göz önünde bulunduran ve en kısa yolu dikkate alan düşük maliyetli hatlar planlamayı hedeflemiştir. Fakat bu çalışmalarda bir bütünlükten söz etmek mümkün değildir. Yapılan çalışmaları kapsayan teknik, sosyal ve çevresel kriterler bazı çalışmalardaki hazır kaynaklardan faydalanılarak kullanılmıştır. Kriterleri

ağırlıklandırarak yapılan çalışmalarda ise kriterlerin doğru analiz edilmesini sağlayacak harita altlıklarının kullanılmadığı görülmektedir. Farklı yöntemler kullanılarak sonuç ürünler elde edilen çalışmaların sonuçlarının irdelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ENH güzergâhının belirlenmesinde önemli olan kriterleri bölgeyi tanıyan uzman görüşlerine göre ağırlıklandırarak, uyulması zorunluluk arz eden ulusal standartları taşıyan bir tasarım yapılmıştır. Bu kapsamda sahada yapılacak çalışmaları en az seviyeye indirgeyecek veri setleri kullanılarak literatürde örneklerini gördüğümüz bazı yöntemlerden de faydalanılarak sonuç ürünlerin elde edildiği, elde edilen sonuç ürünlerin ise sektörel çalışmalarla üretilen sonuçlarla karşılaştırıldığı bütüncül bir çalışma yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, ulusal ve uluslararası standartlara bağlı bir ENH güzergâhı belirleme işlemi için bireysel yorumlamalardan kaynaklanan hataları en alt seviyeye indirgeyen, zaman, maliyet ve kalite standartlarına optimum seviyede dikkat eden bir planlama ve tasarım stratejisi geliştirmektir. Ülkemizde yapılan ENH planları topografik haritalara ve uydu görüntülerinden elde edilen düşük çözünürlüklü mekânsal verilere dayalıdır. Bu tez çalışmasında, diğer planlama çalışmalarından farklı olarak sahada gerçekleştirilen doğrulama amaçlı ölçme işlemlerini minimuma indirgeyen, CBS ortamında toplanan veriler üzerinden uygulanabilir bir ENH tasarım planının oluşturulması hedeflenmektedir.

1.3 Hipotez

- ENH uygulama bölgesindeki topografik yapı, tasarıma doğrudan etki eden faktörlerin başında gelir. CBS ortamında yapılandırılan 1:25K ölçekli topografik veriler, optimum rotanın belirlenmesinde kullanılan farklı kriterler için gerekli temel veri sınıflarını türetmeye yarar.
- Bölgesel ihtiyaçlara cevap verebilmesi adına çalışılan alana hâkim uzman kişiler tarafından öngörülen kriterler bütüncül bir yaklaşım ile değerlendirilmelidir. AHP yaklaşımı uzman görüşlerine dayalı olarak kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılabilir.

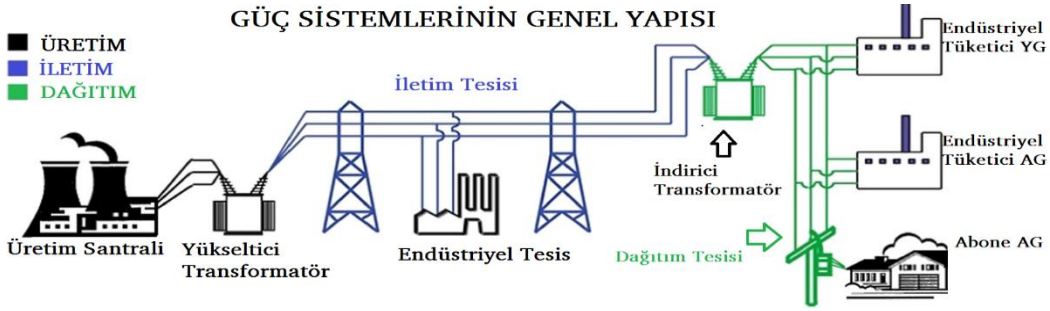
- Çizgi nesnelerine gerçekleştirilen basitleştirme işlemi, ENH güzergâh tasarımındaki keskin dönüşleri azaltabilir ve zaman, maliyet ve kalite açısından daha uyumlu bir güzergâh oluşturabilir.

2
TEMEL KAVRAMLAR

ENH enerji üretilen noktadan, enerjinin tüketileceği noktaya kadar yapılan tesislere verilen genel isimdir. ENH'ların daha detaylı olarak incelendiği ve proje tasarım aşamasında uyulması gereken şartnameler aşağıda gösterilmiştir. ENH tasarımı aşamasında kullanılacak alanların topografik yapısı ve bu alanlardaki sosyal ve çevresel etmenler değerlendirilerek karar verme süreçleri aşağıda açıklanmıştır.

2.1 Enerji Nakil Hattı

Enerji kaynaklarının elektrik enerjisine dönüştürülmesine üretim denir. Türkiye'de hidrolik santral, doğalgaz termik santrali, termik kömür santrali ve rüzgâr enerji santrali üretim alanlarında devlet eliyle elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Bu santraller Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) kontrolündedir. Türkiye'nin enerji ihtiyacının yaklaşık %19,6'lık kısmı yukarıda bahsedilen tesislerden karşılanmaktadır (EÜAŞ, 2022). Ayrıca tüzel kişiler ve üçüncü şahıslar tarafından da RES, GES, JES ve BES üretim alanları kurulmaktadır. Tüzel kişiler ve üçüncü şahıslar tarafından kurulan tesisler, dağıtım gerilim seviyesinden ulusal şebekeye bağlanabilir. Üretilen enerjiyi tüketim noktasına ulaştırmak için iletim hattı ve dağıtım tesisi olmak üzere iki ayrı tesis kurulması gerekir. Şekil 2.1'de üretim santralinde üretilen enerjinin kullanıcılara ulaşma süreci gösterilmektedir. Üretim sahasının çıkışında yükseltici transformatör yardımıyla toplanan enerji mavi renkte gösterilen iletim hatları ile indirici transformatöre kadar taşınmaktadır. İndirici transformatörden alınan enerji tesisler üzerinden kullanıcı ile buluşturulur.



Şekil 2. 1 Güç sistemlerinin genel yapısı (Kishore ve Singal, 2014)

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda *iletim* ve *dağıtım* hatları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (TBMM, 2013).

> *"Üretim veya tüketim tesislerinin 36 kV üstü gerilim seviyesinden bağlı olduğu üretim veya tüketim tesisi şalt sahasından sonraki nihayet direğinden itibaren iletim şalt sahalarının orta gerilim fiderleri de dâhil olmak üzere dağıtım tesislerinin bağlantı noktalarına kadar olan tesislere iletim hattı denir.*
>
> *İletim tesislerinin ve dağıtım gerilim seviyesinden bağlı üretim ve tüketim tesislerine ait şalt sahalarının bittiği noktadan sonraki nihayet direğinden, alçak gerilim seviyesinden bağlı tüketicilerin yapı bina giriş noktalarına kadar, bina giriş ve sayaç arası hariç, elektrik dağıtımı için teçhiz edilmiş tesis ve teçhizat ile dağıtım şirketince teçhiz edilen ya da devralınan sayaçlara ise dağıtım tesisi denir."*

Baraj üretim santrallerinde üretilen elektrik enerjisi, yerleşim yerlerine yakın aynı zamanda konut alanları dışında kurulan indirici trafo merkezlerine (İTM) iletim hatları ile taşınır. Türkiye'de iletim hatlarının kontrolü TEİAŞ sorumluluğundadır. TEİAŞ'ın resmi internet sitesinde 2022 yılı Nisan ayı sonu itibariyle Türkiye'deki iletim hatlarının toplam uzunluğunun 72.910 km olduğu kayıtlıdır (TEİAŞ, 2022b). Türkiye'deki dağıtım tesislerinin mülkiyeti Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye (TEDAŞ) ait olmak üzere 21 ayrı bölgede tüzel kişiler tarafından faaliyet gösterilmektedir. Dağıtım faaliyetlerini sürdüren şirketlerin TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan teknik şartnamelere bağlı kalma zorunluluğu bulunmaktadır. Dağıtım şirketleri, ENH'ları gerilim seviyesine göre; alçak gerilim (AG) ve orta gerilim (OG) olmak üzere iki ayrı tesis inşa

etmektedir. AG hatlar kullanılabilir şiddette sahip olan enerjiyi abonelere ulaştırmak için tasarlanan hatlar olduğundan yerleşim yeri sınırları içinde tesis edilebilir. OG seviyesindeki hatlar ise zorunlu olmadıkça yerleşim yerleri dışında kalan, TEDAŞ teknik standartlarına uygun olarak tesis edilen hatlardır. AG hatların etkin şiddeti 1000 V ve altında kalan gerilim seviyesindedir. Etkin şiddeti 1000 V üstü ve 36 kV altı olan hatlar OG hatlardır. Etkin şiddeti 36 kV üstündeki gerilim seviyesinde olan hatlara ise yüksek gerilim (YG) hatlar denilmektedir. YG hatlar iletim hatları olup sorumluluğu TEİAŞ'a aittir.

2.1.1. Teknik Standartlar

ENH tesis edilmesi, iletim ve dağıtım faaliyetlerinin sürdürülmesi ve bakım-onarım işlemleri için her ülkenin kendi standartlarına uygun yayınlar vardır (Tablo 2.1).

Tablo 2. 1 Ülkelerin ENH inşası için kullanılan standartları (Kishore ve Singal, 2014)

Ülkesi	**Kurumu**	**Yönerge Kodu**			
		İletkenler	**Kuleler**	**Yalıtkanlar**	**Donanım**
Amerika	American Society of Civil Engineers (ASCE)/American Society for Testing and Materials (ASTM)	ASTM B 232 ASTM B 779 ASTM B 500	ASCE Standard 10-97, ASCE Manual 74 ASCE/SEI 48	ASTM A394 ASTM A363	
Avustralya	Standards Australia International, Ltd. (SAI)	AS1746, AS1531, AS3607, AS1222.1, AS1222.2, AS2841	AS1170, AS1289, AS2159, AS3995, AS4100	AS4398, AS2947, AS3608, AS3609	AS1154 AS4396

Tablo 2. 1 Ülkelerin ENH inşası için kullanılan standartları (Kishore ve Singal, 2014) (devamı)

Çin	Department of Electric Power	DL/T5092 GBJ233			
İngiltere	British Standards (BS)	BS215	BS 8100, BS EN 1993 BS EN 1996, NA to BS EN 1998	BS3288, BS3297 BS2692	BS2692 BS3170
Avrupa	European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELAC)	EN 1990 – 1994 and EN1997 – 1999			
IEC	Standard Management Board (SMB)	IEC 61394 IEC62420 IEC62219 IEC60889 IEC61089 IEC61395 IEC60104	IEC60826, IEC60652, IEC61773, IEC61774	IEC60305 IEC61325 IEC61109 IEC61952 IEC61467 IEC60433 IEC60383 IEC61211	IEC60099 IEC61284 IEC61854 IEC62271
IEEE	IEEE Standards Association	IEEE GUIDE 524 IEEE STD 738	IEEE STD 1441, IEEE GUIDE 691, IEEE GUIDE 977	ANSI C135	IEEE STD C135
Hindistan	Bureau of Indian Standards (BIS)	IS398, IS1778, IS2121	IS802	IS11182	IS5613, IS9511, IS9708, IS10162

Türkiye'de elektrik dağıtım faaliyetlerine ilişkin standartlar TEDAŞ Genel Müdürlüğü tarafından şartname olarak yayınlanmaktadır (TEDAŞ, 2022). Buna göre;

- Öncelikle, enerji alınacak ve enerji temin edilecek noktalar belirlenir.
- 1:25K ölçekli standart topografik haritalar üzerinde alternatif güzergâhlar tanımlanır.
- Çalışma yapılacak alanda bulunan mevcut tesisler ortaya konur.
- ENH için mümkün olan en kısa güzergâh seçilir.
- Güzergâh seçiminde resmi kurum ve kuruluşların çalışma alanındaki mevcut ve planlanan tesisleri dikkate alınır.
- Konutların üzerinden ENH geçirilmez.
- Bakım ve işletmesinin yapılması için ulaşımın kolay olmasına dikkat edilir.
- ENH tesis edilmesi mümkün olamayan (nehir, vadi, sel yatağı, bataklık) alanlardan kaçınılması için zemin jeolojik olarak incelenmelidir.
- Askeri alanlar, patlayıcı madde depo alanları ve sit alanı gibi yasaklı bölgelerden kaçınılmalıdır.
- Rüzgâr, yağış rejimi gibi meteorolojik şartlara dikkat edilir.
- Eğim, kot farkı, dere, zirve gibi topografik özellikler ortaya konur.
- Some noktalarının sayısı olabildiğince az olmalı ve hat keskin açılı olarak tasarlanmamalıdır.

Diğer taraftan, ENH tesislerinin inşasında mevcut mülkiyet durumu oldukça önemlidir. Kamulaştırma ve izin işlemleri zorlu olmayan, tarım alanları dışında kalan ve olumsuz çevresel etkisi en düşük olan güzergâhlar oluşturulmalıdır.

Yukarıdaki teknik şartnamede maddeler halinde belirtilen her bir detay ENH güzergâhının belirlenmesinde farklı düzeyde bir etkiye sahiptir. Örneğin; bölgede daha önce oluşturulmuş bir ENH'nın mevcut olması, tasarlanacak yeni güzergâhı doğrudan etkiler. Kamu kurum ve kuruluşlarının bölgede devam eden veya planlanan projeleri güzergâhın taşıyacağı kapasiteye bağlı olarak maliyeti etkileyebilir. Kamu kaynaklarının verimli kullanılabilmesi için bölgenin mevcut durumu ile birlikte gelecek planlarının da dikkate alınması oldukça önemlidir.

Ayrıca, konut alanlarının üzerinden ENH geçirilmemesi ve kamu kurumlarına ait altyapı ve üstyapı tesisleri ile uyumlu güzergâhlar planlanması ENH güzergâhının kalitesi ile ilgili belirleyici unsurlardır. Tüm bunlara ek olarak, arazinin topografik özelliklerinin ortaya konularak bataklık vb. alanlardan kaçınmak, askeri alanlar, patlayıcı madde depo alanları ve sit alanları gibi yasaklı bölgelerden kaçınmak ve mülkiyet bakımından kontrol edilen arazilerde ENH güzergâhı tespit edilmesi zaman faktörü ile ilişkilendirilebilir.

Çok sayıda farklı kriteri değerlendirmek, somut ve soyut kavramlar arasında bir öncelik belirlemek ENH tasarımını zorlaştıran bir süreçtir. Tasarımcının dikkat eksikliği ve kullandığı veri setinin detay seviyesi süreci doğrudan etkiler. Tasarımcı tarafından önceliklerin belirlenmesi ve buna uygun seçimlerin yapılması verimsiz olabilecek projelerin önüne geçilmesini sağlayacaktır.

2.2 Çok Kriterli Karar Verme

Gündelik hayatımızın her anında bir karar verme süreci içerisindeyiz. Çalışırken, araç kullanırken, yemek yerken veya yürürken beklentilerimize ve zorunluluklara göre sürekli yeni kararlar vermemiz gerekir. Araç kullanırken yola aniden çıkan birini gördüğümüzde, birden fazla kriter içerisinden en uygun olanına karar vermek durumunda kalırız. Hızlanarak yayadan önce yolu geçmek, manevra yaparak hem yayaya zarar vermemek hem de yayanın da yolda ilerlemesine imkân tanımak veya yaya yoldan geçene kadar durup beklemek tercihlerden biri olabilir. Sürücü karşılaştığı durum karşısında bir karar vermek durumundadır. Bir süreci etkileyen unsurların çokluğu karar verme işini zorlaştırır. Örneğin karar verici birden fazla somut ve soyut kriter arasından en iyi olanı seçmek zorunda kalabilir. Aynı karar verici birden fazla seçim yapmak zorunda kaldığında ve bu kararlarının her biri tek bir sonuca bağlı olduğunda, karar verici çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerini kullanarak en doğru seçimi yapabilir.

ENH güzergâhı belirlenirken tek bir kritere bağlı kalmak mümkün değildir. Teknik standartlar başlığı altında belirtilen maddeler arasından mümkün olan en kısa güzergâh ile ilgili olan koşul incelendiğinde; ENH güzergâhı arazi topografyası açısından tesis inşası mümkün olmayan, nehir, vadi, göl gibi

alanlara denk gelebilir. Ya da en kısa güzergâh konut, ticaret ve sanayi alanları veya tarım arazilerinin üzerinden geçebilir. Bu durumda en kısa güzergâh yerine gerekli koşullara uygun alternatif güzergâhlar arasından bir tercih yapılması gerekir.

ENH tasarımında en kısa güzergâh tesis maliyeti ile doğrudan ilgilidir. Bölgenin topografik yapısı dikkate alındığında inşaatın daha kısa sürede tamamlanması mümkün olur. Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç ve elektrik dağıtım şirketlerinin abonelere enerji temin etme zorunluluğu zamanın önemini arttırmaktadır. Zaman ve maliyet kriterleri ile birlikte kaliteli ve sürdürülebilir güzergâhlar tasarlanması önemlidir. Zaman, maliyet ve kalite kriterlerinin altında ayrıca ele alınması gereken zemin yapısı, mülkiyet durumu, arazinin kullanım amacı gibi kriterler göz önünde bulundurulur. Bu bakımdan ÇKKV yöntemlerinin ENH güzergâhlarının planlama aşamasında kullanılması karar vermeyi kolaylaştırır. ÇKKV yöntemi karar vericiye analiz yapma imkânı vererek en iyi çözümü bulmasına katkı sağlar (Stewart, 1992).

ÇKKV birden fazla kriter arasından, karar vericiler tarafından en ideal olanı seçmeye veya bunlar arasında bir öncelik belirlemeye yardımcı olur. Günümüzde doğru karar verebilme sürecinde ÇKKV yöntemleri, mühendislik, kalite, sosyal etki, çevresel etki, ekonomik ve zaman gibi çok farklı etkilere sahip kriterler arasında karar vericilere en ideal sonuçları sunmada önemli araçlardır.

Mardani, vd. (2015), ÇKKV yaklaşımlarını birbirinden farklı somut ve soyut kavram arasında karmaşık bir karar verme tekniği olarak tanımlamıştır. Optimal olan seçeneği belirlemek için AHP dışında çeşitli ÇKKV teknikleri (ELimination Et Choix Traduisant la REalité: ELECTRE (Buffet vd., 1967), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981), hibrit ÇKKV (Ijab, 2004) ve toplamalı karar verme (O'Hagan, 1988) mevcuttur.

AHP, kriterleri ikili olarak karşılaştırarak her bir kriterin ağırlıklandırılmasına olanak tanıyan bir araçtır. Karar verme sürecinde kriterlerin her birinin karara ne oranda katkı sağlayacağı ve her bir kriter için hesaplanan ağırlık değerinin tutarlılık oranı AHP yaklaşımı ile hesaplanabilir. Bu iki özel durum AHP'nin üstün yanlarıdır. Ayrıca çeşitli devlet kurumlarının gündelik faaliyetleri,

danışmanlık ajansları ve şirketler tarafından da AHP yaklaşımı kullanılmaktadır. AHP'nin basit hiyerarşi yapısı, tutarlılık kontrolü yapma imkânı sunması mühendislik uygulamalarında çok kullanılan bir araç olmasını sağlamıştır (Al-Harbi, 2001).

2.2.1 AHP'nin matematiksel modeli

AHP, ilgili unsurların göreceli baskınlığını veya tercih edilebilirliğini ölçmek için kullanılır. Yapılacak çalışmanın kriterleri belirlenir. Bu kriterler karar vericinin beklentilerini karşılayacak şekilde yapılandırılır. Kriterlere ait uzman görüşleri toplanarak bunlara bir değer atanır. Bu değerler kriterlerin birbirine karşı olan üstünlüklerini belirlemek için kullanılır (Saaty, 1980).

Üstünlüğü ifade etmek için kullanılan 1'den 9'a kadar olan sayılar (karşılaştırma ölçeği) Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2. 2 AHP için ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkılıdır.
3	Orta önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Güçlü önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet değerine göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok güçlü önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilmiştir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.

Tablo 2. 2 AHP için ikili karşılaştırma ölçeği (devamı)

2, 4, 6, 8	Yukarıdaki değerler arasındaki ara değerler	Bir değerlendirmede, hangi değerin olduğu noktasında tereddütler varsa, sayısal değerler ortasındaki bir değer verilir.

Her bir kriterin önemi ikili karşılaştırmalar kullanılarak belirlenir (Tablo 2.3). "n" elemanlı bir matriste $[n(n-1)/2]$ adet karşılaştırma yapılır. Bunun nedeni, matrisin diyagonal köşegenin altında kalan değerlendirmelerin köşegenin üstünde yer alan değerlerin tersi alınarak hesaplanmasıdır. Matrisin diyagonal köşegeninde yer alan kriter ise birbirleri ile karşılaştırıldığından "1" değerlerini alır. Bu kapsamda sadece matrisin diyagonal köşegeninin üst kısmında yer alan kısımlar için ikili karşılaştırma yapılır.

Tablo 2. 3 AHP için ikili karşılaştırma matrisi

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	…	Kriter n	Ağırlık (w)
Kriter 1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	…	a_{1n}	w_1
Kriter 2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	…	a_{2n}	w_2
Kriter 3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	…	a_{3n}	w_3
…	…	…	…	…	a_{4n}	…
Kriter n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	…	a_{nn}	w_n
	$a_{11}+a_{21}+…$ a_{n1}	$a_{12}+a_{22}+…$ a_{n2}	$a_{13}+a_{23}+…$ a_{n3}	…	$a_{1n}+$ $a_{2n}+…+a_{nn}$	1

Karşılaştırma matrisinin her bir elemanı kendi sütun toplamına bölünerek Eşitlik (2.1) yardımıyla normalleştirilmiş matris elde edilir.

$$a_{ij} = \frac{a_{11}}{a_{11} + a_{12} + \cdots + a_{n1}} \tag{2.1}$$

Normalleştirilmiş matrisin her bir sütununun toplamı 1'e eşit olmalıdır. Her bir satır toplamı, matrisin sütun sayısına bölünerek satırların aritmetik ortalaması hesaplanır. Bu ortalama, her bir kriterin ağırlığını temsil eder. Kriterlere ait ağırlıkların toplamı 1'e eşittir.

Öz vektör olarak da adlandırılan ağırlıklar Eşitlik (2.2) yardımı ile hesaplanır.

$$w_{ij} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^{n} a'_{ij} \ \ (i, j = 1,2,3, \dots, n) \tag{2.2}$$

Tablo 2.3'deki ikili karşılaştırma matrisinde kullanılan sayılar kriterlerin birbirlerine olan üstünlüklerine göre verilmiştir. Her bir kriter için atanan bir önem değeri vardır. Bu değerlerin tutarlı olup olmadığının hesaplanması gerekir. Öz değer, Eşitlik (2.3) yardımıyla hesaplanır.

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} w_j}{w_i}\right] \tag{2.3}$$

Tutarlılık oranının hesaplanması için öncelikle tutarlılık indeksinin (T_i) hesaplanması gerekir. T_i, Eşitlik (2.4) yardımıyla hesaplanır.

$$T_i = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2.4}$$

Tutarlılık oranı için rastgele indeks (R_i) (Tablo 2.4) değerine ihtiyaç duyulur. R_i değeri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Matris boyutuna uygun olan değerin bu tablodan seçilmesi gerekir.

Tablo 2. 4 Rastgele indeks

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

Tutarlılık oranı Eşitlik (2.5) ile hesaplanır.

$$T_o = \frac{T_i}{R_i} \tag{2.5}$$

AHP yaklaşımında kriterlere ilişkin ağırlık düzeyleri belirlendikten sonra karar vericinin yargılarında tutarlı olup olmadığını belirlemek için tutarlılık oranı (consistency ratio - CR) hesaplanır. Bu oran, ikili karşılaştırmalarda yanlış değerlendirmeleri tespit etmeye yarar. CR değeri %10'a eşit veya daha küçükse, karar vericinin değerlendirmesi kabul edilebilir. Aksi takdirde, öznel yargı tekrar gözden geçirilmelidir.

2.3 Dijkstra (En kısa yol) Algoritması

Ulaşım, lojistik vb. birçok uygulama alanları için belirlenmiş başlangıç ve bitiş konumları arasındaki optimum güzergâh tespitinin insan beyni ile gerçekleştirilmesi zor bir süreçtir. Güzergâh tespitine ait klasik yaklaşımlarda, önceden tespit edilemeyen engellerin var olması, bölgede fazla sayıda akarsu, yol ve demiryolu geçişinin bulunması, koruma alanları, riskli bölgelerin daha önceden tespit edilememesi ve birinci sınıf tarım arazileri ve fay hatlarının çalışma bölgesinde mevcut olması gibi çeşitli faktörler bir bütün olarak dikkate alınamamaktadır. Bu nedenle güzergâh tespiti işlemi, projelerin yapım faaliyetlerini, işletilmesini ve kullanım sürelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu türdeki zararların en aza indirgenmesi için, tüm faktörlerin bir arada değerlendiren optimum güzergâh modelinin oluşturulması gerekmektedir.

En kısa yol, bu tür bir ağ analizinde en sık kullanılan işlemdir. Genellikle bir grafikteki iki nokta konumu arasındaki en kısa yolu çözmektedir. Bu kapsamda en kısa yol güzergâh tespitini hesaplayan farklı algoritmalar geliştirilmiş ve bunlardan bazıları CBS yazılımlarına entegre edilmiştir. Dijkstra algoritması en kısa yolu bulmayı sağlayan algoritmalardan biridir. Tek parametreli en kısa güzergâh tespit algoritması olarak bilinen dijkstra algoritması, en iyi rota çözümü için bilgisayar bilimi ve yöneylem araştırmasında en ünlü ve popüleridir (Dijkstra 1959; Sniedovich, 2006). Tek bir kaynak düğümden bir ağdaki diğer tüm düğümlere en kısa yolu bulmak için kullanılan bir etiket ayarlama algoritmasıdır. Aslında, bahsedilen etiket ayarlama algoritması, her biri belirli bir kalıcı etiketli düğüme bitişik olan düğümlere geçici etiketlerin atandığı ve ardından en kısa mesafelerinin hesaplandığı yinelemeli bir işlemdir. Her yinelemenin sonunda, algoritma bir geçici etiketin kalıcı olmasını sağlar ve

yineleme hedef düğüme en kısa yol bulunana kadar devam eder. Buradaki kalıcı etiketler, optimum çözümdeki gerçek en kısa yol mesafelerini temsil eder (Pun-Cheng vd., 2007). Minimum maliyet sorunlarına odaklanan çeşitli ağ analizi işlemleri, en iyi yol çözümünün türevleridir. Bu işlemler; (1) Nokta konumları arasındaki en iyi rotayı bulmak, (2) Ağ üzerindeki en yakın tesisi bulmak, (3) Bir tesisin çevresindeki bir hizmet alanının belirlenmesi, (4) Bir başlangıç-son (OD) matrisi oluşturma olarak sıralanmaktadır (Gülgen, 2017; Curtin, 2007).

Dijkstra algoritmasının temel çalışma prensibi aşağıdaki işlemlerden oluşmaktadır:

Adım 1: Başlangıç noktası işaretlenir.

Adım 2: Tüm noktalara, başlangıç noktasından geçiş maliyetini hesaplar ve en düşük değere sahip olana bağlanır.

Adım 3: Sonra geçiş yapılan nokta ile diğer noktalar arasındaki bağlantı maliyetini hesaplar. Yine maliyeti en düşük olan noktaya bağlanır.

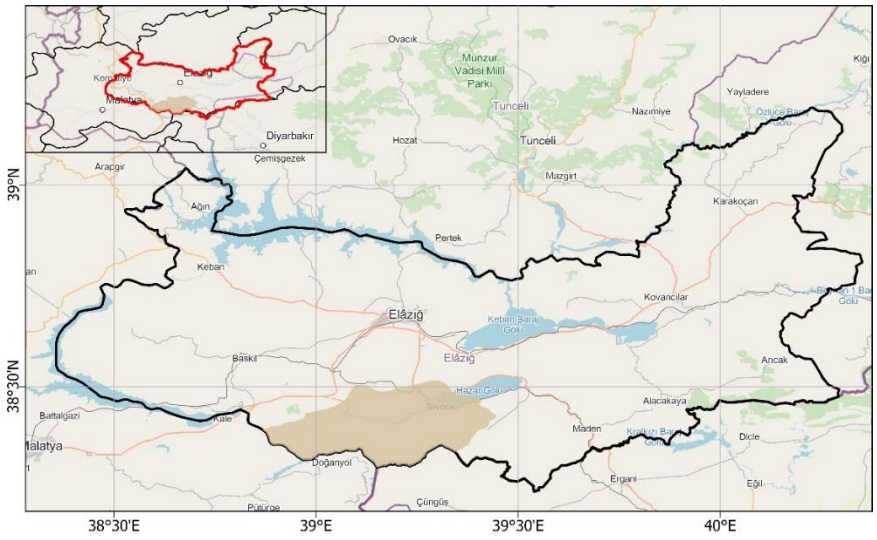
Adım 4: Hedefe ulaşılana kadar Adım 3 tekrarlanır.

3
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışma bölgesi, kullanılan veri seti, ENH güzergâh tespiti için oluşturulan hiyerarşi yapısı, AHP modelinin uygulanması için uzman görüşlerinin toplanması ve değerlendirilmesi kısımları açıklanmıştır.

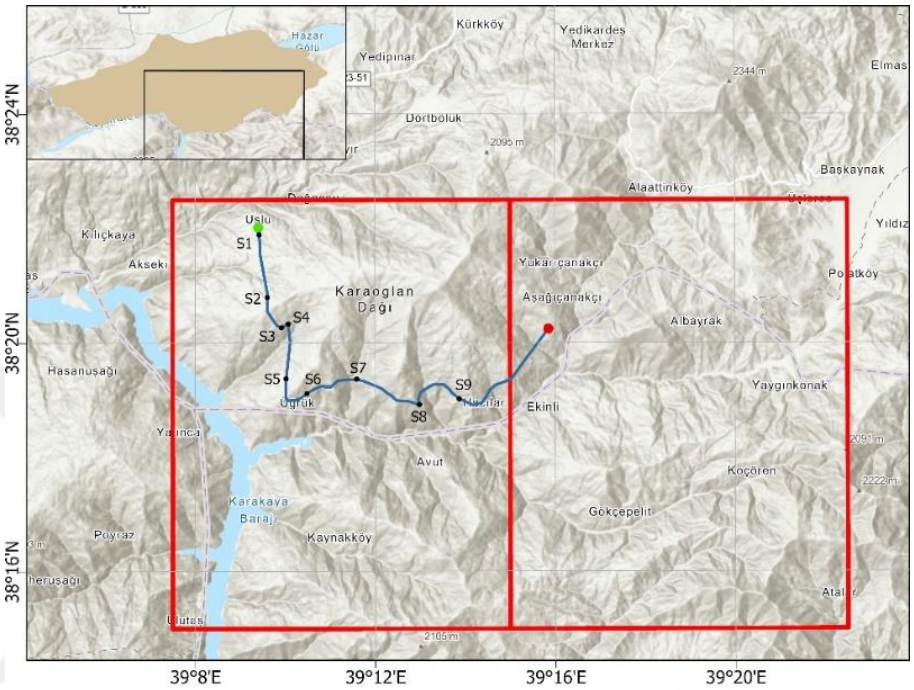
3.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi Elazığ ili sınırları içinde kalan Şekil 3.1'de sarı renkle gösterilen Sivrice ilçesi olarak seçilmiştir. İlçenin yüzölçümü yaklaşık olarak 710 km^2'dir. İlçe kuzeyinde Elazığ merkezi, doğuda Maden ilçesi, güneyde Doğanyol ve Çüngüş ilçeleri, batıda Kale ilçesi ile çevrilidir. Fırat Havzası'nın Yukarı Fırat bölümünde yer almaktadır. Sivrice, Elazığ il merkezine yaklaşık 30 km uzaklıktadır. Doğu Anadolu Bölgesi sınırlarında kalan Sivrice, dağ ve ovalarla kaplıdır. Güneybatısında ilçeyi Malatya sınırı ile ayıran Keban Baraj gölü uzanmaktadır. Elazığ - Diyarbakır yolu üzerinde bulunan ilçenin en önemli doğal güzelliği Hazar Gölü'dür. Sivrice'de en düşük rakım yaklaşık 684 m, en yüksek rakım ise 2347 m civarındadır. İlçede karasal iklim hâkim olup, kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçmektedir



Şekil 3. 1 Çalışma alanı

Enerji İhtiyacı yüksek olan Sivrice ilçesi sınırlarında, AG seviyesinde yaklaşık 560 km ve OG seviyesinde yaklaşık 285 km ENH tesisi bulunmaktadır. Bölgede Aşağı Çanakçı, Çatakkaya ve Uslu köylerine enerji sağlayan hatların eskimesi ve enerji ihtiyacının karşılanmasında sık sık arıza yaşanması nedeniyle yeni bir OG seviyesinde ENH tesis edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 ENH güzergâh tespiti analizinde çalışma bölgesi sınırları

Bölgede gerçekleştirilecek ENH güzergâhı ve çevresi iki adet 1:25K ölçekli pafta (ELAZIĞ L42A3, L42B4) içinde yer almaktadır. Çalışma bölgesinde Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından daha önceden planlanan bir güzergâh tasarımı mevcuttur (Şekil 3.2'de mavi hat). Bu hattın planı, dağıtım şirketi tarafından klasik yaklaşımlara benzer şekilde, bölgenin sadece topografyası yani yükseklik bilgileri ve eğimi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Hattın başlangıcı yeşil renk, bitişi ise kırmızı renk ile gösterilen noktalardır. Ayrıca, dağıtım şirketi tarafından gerçekleştirilen planlamada, güzergâh boyunca hattın geçmesi gereken (S ile tanımlanan) some noktaları tanımlanmıştır.

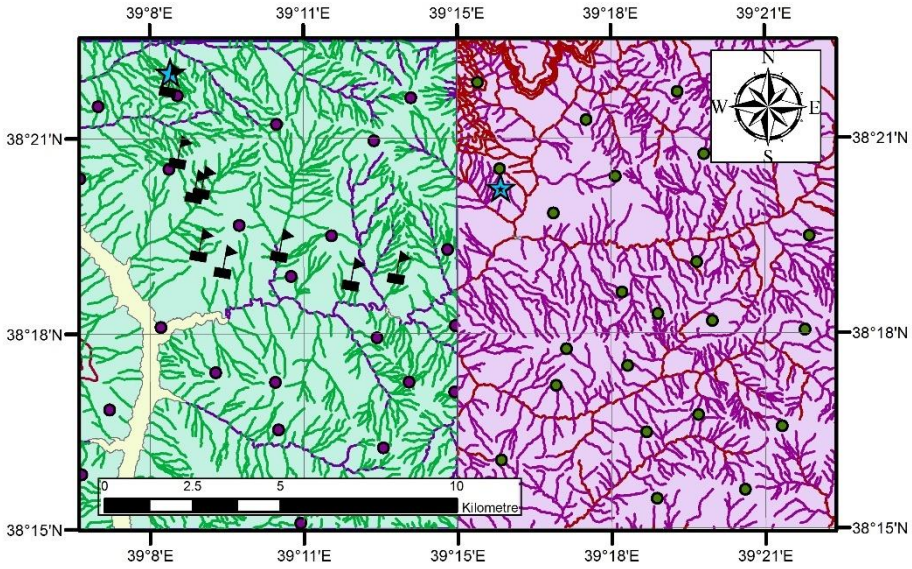
3.2 Veri Seti

Çalışma bölgesinde ENH güzergâh tespitinin gerçekleştirilebilmesi için çeşitli kaynaklardan veriler toplanmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3. 1 Veri seti

Veri	Veri türü	Veri kaynağı
1:25K ölçekli topografik haritalar	Raster ve Sayısal	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)
Sayısal arazi modeli	Sayısal	ArcGIS 10.5 yazılımı (TopoToRaster aracı)
1:500K ölçekli heyelan haritası	Raster	Maden Tetkik ve Arama (MTA)
1:1000 ölçekli kadastro altlık haritaları	Sayısal	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM)
1:100K ölçekli Corine arazi örtüsü haritaları	Raster	Avrupa Çevre Ajansı (AÇA)

Topografik haritalar, ENH güzergâh tespitini etkileyen birçok faktörün belirlenmesi için kullanılan temel veri kaynağıdır. 1:25K ölçekli sayısal standart topografik haritalar HGM'nin güncel topografik veri setleridir. Çalışma bölgesi olan güzergâh ve çevresi iki adet 1:25K ölçekli pafta sınırı içerisinde yer almaktadır. ENH güzergahını etkileyen arazi kullanımı, karayolu / demiryolu / boru hattı geçişleri, yollara olan uzaklıklar, eğim, buz yükü bölgeleri, yerleşim alanları, sulak alanların geçişleri, ormanlık alanlar, koruma ve rekreasyon alanları gibi birçok faktör topografik veri setlerinden elde edilmiştir. Çalışma bölgesine ait genel pafta sınırları ve 1:25K ölçekli topografik veri setlerine ait genel bir görünüm Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 1:25K ölçekli topografik veri setlerine ait genel görünüm

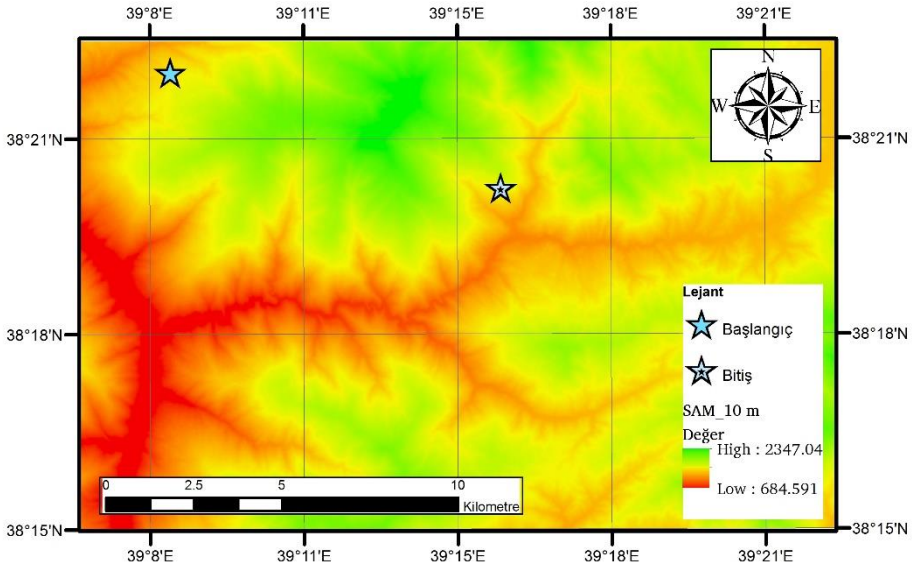
Sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulması ENH tasarımının başlangıç adımıdır. Arazinin uygunluğu büyük ölçüde yükseklik verileri ve buna bağlı oluşturulan eğim değerleri ile belirlenebildiğinden dolayı, SAM verileri enerji hatlarının güzergâh seçimi için gereklidir. 1:25K ölçekli sayısal topografik veriler işlenerek çalışma bölgesinin SAM oluşturulmuştur. Bu veri seti ArcGIS yazılımının TopoToRaster aracı kullanılarak elde edilmiştir. SAM arazi yüzeyinden toplanmış düzenli aralıklı yükseklik verilerinden oluşur. SAM verisinin çözünürlüğü kaynak verinin çözünürlüğüne bağlıdır. TopoToRaster aracı çalışma yapılan bölgedeki kot noktaları, yükseklik eğrileri verilerini kullanır. Ayrıca arazinin karakteristik çizgileri olan, eğim değişim doğrultularını gösteren drenaj ağı verileri TopoToRaster'ın girdileridir (Şekil 3.3). 1:25K ölçekli topografik haritaların temel yükseklik kaynağı yükseklik eğrileridir. Bu haritalarda yükseklik eğrileri 10 m düşey çözünürlüklüdür. SAM'ın çözünürlük değerinin belirlenmesinde Hengl (2006) 10 m aralıklı yükseklik eğrilerinden üretilecek en uygun çözünürlüğün 12,0 – 53,5 m arasında olabileceğini belirtmiştir. Ölçeğine bağlı olarak en düşük, makul ve en yüksek çözünürlüğün hesabında kullanılabilecek üç bağıntı önermiştir. Buna göre Eşitlik 3.1 en düşük çözünürlüğü, Eşitlik 3.2 en yüksek çözünürlüğü, Eşitlik 3.3 ise makul çözünürlüğü ifade etmektedir.

$$\text{Çözünürlükmin} = \text{Ölçek Sayısı} \times 0{,}0025 \quad (3.1)$$

$$\text{Çözünürlükmax} = \text{Ölçek Sayısı} \times 0{,}0001 \quad (3.2)$$

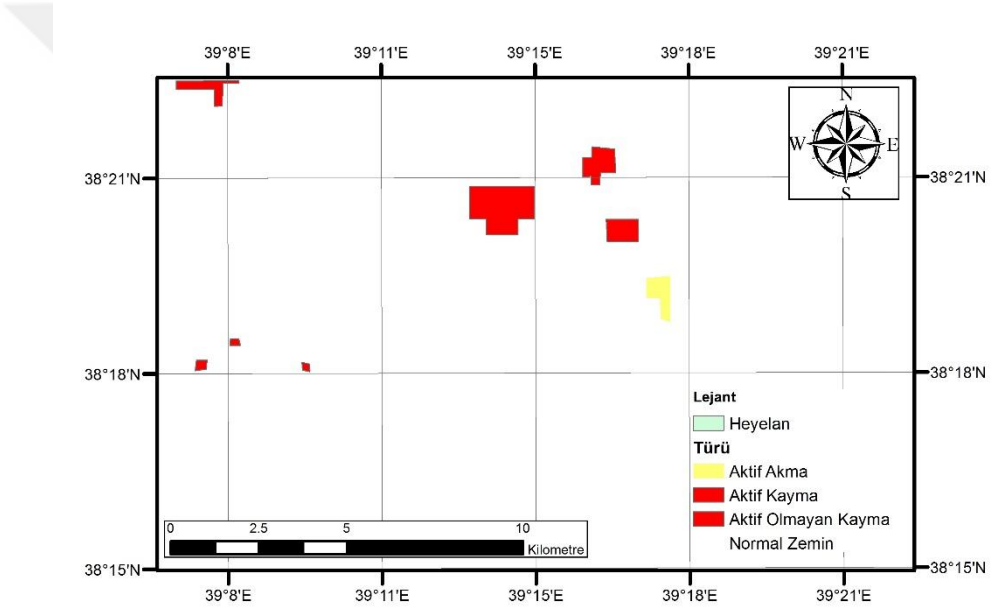
$$\text{Çözünürlükmakul} = \text{Ölçek Sayısı} \times 0{,}0005 \quad (3.3)$$

1:25K ölçekli veri setin için bu çalışmada çözünürlük değerleri en düşük, makul ve en yüksek olarak sırasıyla 62,5, 12,5 ve 2,5 m hesaplanmıştır. Buna karşın grafik çözünürlük olarak bilinen ve haritalardaki en küçük okunabilir büyüklük olarak ifade edilen çözünürlük insan gözünün ayırma gücüne bağlıdır. Kartografik açıdan gözün teorik olarak milimetrenin 1/5'i kadar bir büyüklüğü ayırabildiği genel bir kabuldür. Bu büyüklük 1:25K ölçekli bir haritada 5 m'ye karşılık gelir. Dolayısıyla 1:25K ölçekli bir haritanın 5 m'lik çözünürlükten daha duyarlı olması beklenmez. Eşitlik 3.2'den hesaplanan makul çözünürlük değeri dikkate alındığında ENH tasarımı için kullanılabilecek çözünürlüğün 5 – 12,5 m arasında olması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bu kapsamda 10 metre değeri kullanılarak SAM oluşturulmasına karar verilmiştir (Şekil 3.4).



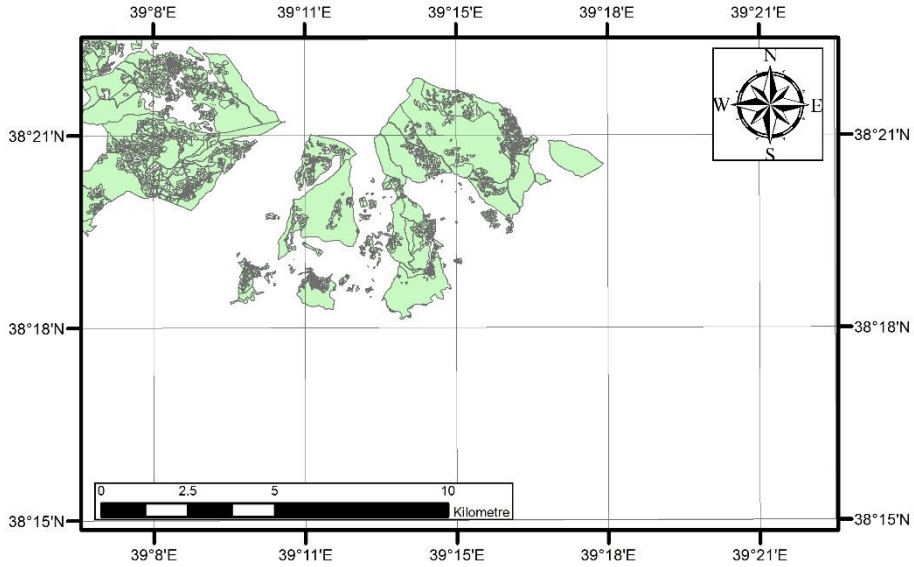
Şekil 3. 4 Türetilen 10 m çözünürlüğe sahip SAM

ENH tasarımını etkileyen bir diğer faktör, bölgedeki riskli alanların mevcut olup olmadığını gösteren heyelan haritalarıdır. Bu haritalar ile bölgedeki aktif ve pasif durumda olan akma ve kayma alanlarının tamamı tespit edilebilir. Bu durum, ENH güzergâh projelerinin tasarımında ilerde karşılaşılacak problemlerin önüne geçme de büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada MTA Genel Müdürlüğü tarafından ücretsiz olarak yayımlanan 1:500K ölçekli (ERZURUM paftası) heyelan haritası kullanılmıştır. Bu haritanın çalışma bölgesinin içerisinde yer alan kütle hareket türleri (Aktif/pasif kayma ve akma) ArcGIS yazılımı ortamında sayısallaştırılarak vektör tabanlı veriler elde edilmiş ve güzergâh tespiti için bu alanlar dikkate alınmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5 Çalışma bölgesine ait heyelan envanter haritası

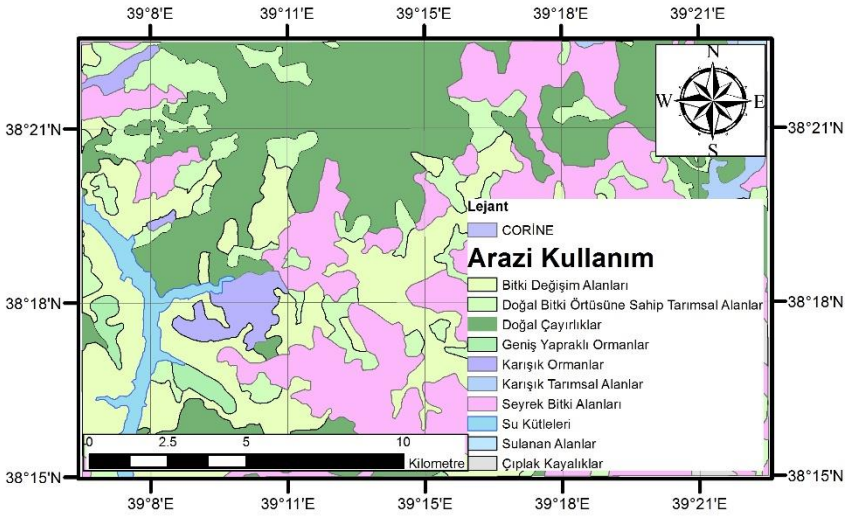
Güzergâh tespiti işlemi gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer parametre ise bölgeye ait üretilen kadastro altlıklarıdır. Bu veriler, çalışma bölgesindeki arazilere ait mülkiyet durumunu ve arazinin kullanım amacını incelemek için üretilmektedir. Bu çalışmada Elazığ il Kadastro Müdürlüğü tarafından üretilen 1:1000 ölçekli vektör tabanlı kadastro altlıkları kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 Planlanan güzergâh ve çevresine ait kadastro altlık haritası

Mevcut arazi kullanımı haritaları, enerji nakil hatlarının yer seçimi için bir diğer kritik veridir. Arazi kullanım bilgisi Coordination of Information on The Environment (CORINE) veri sınıflarına dayalı olarak işaretlenmiştir (Şekil 3.7). CORINE, Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından belirlenen arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırmasına göre uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile üretilen 1:100K ölçekli arazi örtüsü/kullanımını verisidir. AÇA kriterleri ve sınıflama birimlerine göre (44 sınıf, 3 hiyerarşik seviye), uydu görüntüleri üzerinden arazinin izlenmesine yönelik arazi örtüsü/arazi kullanımındaki değişiklikler Uzaktan Algılama (UA) ve CBS yardımıyla tespit edilir (URL-1). AÇA'sına üye tüm ülkelerde, arazideki çevresel değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların rasyonel biçimde yönetilmesi ve çevre ile ilgili politikaların belirlenmesi amaçlarına yönelik olarak aynı temel verilerin toplanması ve standart bir veri tabanının oluşturulması amacıyla 1985 yılında başlatılmış ve 2000 yılından itibaren 6 yılda bir olmak üzere veri setleri güncellenmektedir (URL-1). Çalışma bölgesine ait en güncel veri 2018 yılına aittir. CORINE haritası Copernicus Global Land Service resmî sitesinden ücretsiz olarak indirilmiş (URL-2) ve çalışma bölgesine ait bölgenin haritası çıkarılmıştır (Şekil 3.7). Çalışma bölgesinde, bitki değişim alanları, tarım

alanları, doğal çayırlıklar, geniş yapraklı ve karışık ormanlık alanlar, karışık tarım alanları, sulak alanlar ve çıplak kayalıklar mevcuttur.



Şekil 3. 7 Çalışma bölgesine ait CORINE haritası

3.3 AHP Modeli

Mühendislik projelerinin yönetimi açısından zaman, maliyet ve kalite göz önünde bulundurulması gereken üç temel unsurdur. Proje yönetiminin demir üçgeni olarak tanımlanan bu ana kriterler bir projenin yönetimi ve başarısının ölçülmesinde son derece önemlidir. Proje yönetimi araç, teknik ve kaynakların doğru yönetilmesini gerektirir. Projenin kontrol edilebilir olması ve motivasyonunun yüksek olması bu kriterlerin doğru yönetilmesi ile ilişkilidir (Atkinson, 1999). ENH projeleri için zaman, maliyet ve kalite unsurlarını dikkate alan hiyerarşik yapı içinde projenin sürdürülebilirliğini sağlamak için dikkat edilmesi gereken temel kriterler Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3. 8 AHP modeli

Zaman ana kriteri, uzman elektrik elektronik mühendislerinin görüşleri alınarak değerlendirilen zemin yapısı, mülkiyet durumu ve izin alma kolaylığı alt kriterleri ile ilişkilendirilmiştir. ENH tesislerinin inşa edildiği bölgenin yapılaşmamış geçirgen arazi yapısı göz önünde bulundurulduğunda bölgede kayalıklar, bataklıklar, taşlıklar ve ham toprak yapılar mevcuttur. Kayalık araziler direk yerlerini tesis etmek için kırıcı ekipmanların kullanılmasını gerektirir. Bunların kullanılması işin tamamlanma süresini uzatır. Ayrıca tesis edilecek malzemenin nakli süreyi uzatan bir diğer unsurdur. Bataklık arazilerin ise kurutulması veya tesis edilecek alana bir drenaj sistemi kurularak bölgenin kuru kalması sağlanır. Bunlar da süreyi uzatır. Taşlık araziler ya da ham toprak alanlar inşa açısından diğer alanlara göre daha elverişli olduğundan ENH tesis süresi kısalır. Mülkiyet durumu alt kriteri de zaman ana kriteri ile ilişkilendirilmiştir. ENH güzergâhının inşa edileceği taşınmazların aidiyet durumu zamanı etkiler. Şahıs parselleri, resmi kurum ve kuruluşların parselleri, hazine arazileri ve devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar için iş başlama süreçleri değişiklik gösterir. Sırasıyla, şahıs parselleri, resmi kurum ve kuruluşların parselleri, hazine arazileri ve devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar için kamulaştırma süreci uzundan kısaya doğru değişir. Şahıs arazileri zorunlu olmadıkça kullanılmamalıdır. İzin alma kolaylığı da zamanı etkiler. Sit alanları, arkeolojik alanlar, askeri yasaklı bölgeler ve milli parklara girilmemesi gerekir. Bu alanların dışında kalan yerlerin kamulaştırma, izin ve irtifak hakkı tesisleri daha kolay ve hızlı tamamlanır.

Şirketler kar oranını arttırabilmek adına ENH maliyetlerini düşürmek ister. Tesislerin bakım, onarım ve yenileme işlerini daha az yaparak kar oranının arttırılması onlar için önemlidir. Alanında uzman elektrik elektronik mühendisleri maliyet ana kriterinin altında işletme kolaylığı, tesisin ekonomik ömrünün uzun olması ve teknik standartlara uyumlu olması gibi alt kriterler olması gerektiğini düşünür. İşletme kolaylığı bakımından incelendiğinde tesisin ulaşım yollarına yakın olması herhangi bir arıza durumunda hızlı müdahale edilebilmesine katkı sunar. ENH üzerinde kırık noktaların (some noktası) az olması, daha az durdurucu direk kullanılması ve daha az arıza vermesine neden olur. Güzergâhın kısa olması tesis edilme maliyetini doğrudan düşüreceği gibi taşınan yükün enerji yolunu kısalttığı için enerji kayıplarını azaltacak şekilde maliyet ana kriteri üzerinde etkili olur. Ayrıca, düşük eğimli arazilerde tesis edilen ENH'lar yine ulaşımı kolaylaştırarak maliyeti azaltır. Tasarlanacak güzergâhta işletme bakımlarının düzenli olarak yapılabilmesi ve teknik standartlara uyumlu olması, hattın ekonomik ömrünü uzatarak yenileme gereksinimini azalttığı için maliyete etki eden bir diğer alt kriterdir. Teknik standartlara uyumlu güzergâhlar tasarlamak zorunluk arz eden bir durum olmakla birlikte, uygun buz yükü bölgesine göre seçilen iletken, donanım ve direk tipi hattın daha sürdürülebilir olmasını sağlar. Geniş vadi atlamalarından kaçınmak, yine iletken ağırlığına ve aldığı rüzgâr yüküne bağlı olarak direklerin tepe kuvvetini düşürerek ömrünü uzatır. Heyelan alanlarından uzakta tesis edilen hatların zarar görme riskinin daha az olduğu düşünüldüğünde bu alt kriter de işin maliyetine olumlu yönde etki eden bir durum olarak ön plana çıkar.

Zaman ve maliyet ana kriterlerinin yanında ENH'ın kaliteli bir tesis olması da yine bir projenin vazgeçilmezi olarak değerlendirilir. Kısa zamanda en az maliyetle tesis edilen ENH'nın aynı zamanda kaliteli olması gerekir. Kaliteli bir ENH'nın diğer kamu kurum ve kuruluşlarının sorumluluğu altında olan altyapı ve üst yapı tesisleri ile uyumlu olması önemlidir. Bu uyum ve kısıtlamalar, elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliğinde belirtilmiştir. Karayolu, demiryolu, telekomünikasyon hatları, doğalgaz boru hatları ve mevcut ENH durumları dikkate alınarak uyum kriteri değerlendirilir. Sosyal çevre etkisi altında, ENH'nın yerleşim yerleri dışından geçirilmesine, okul, resmi kurum ve

kuruluşlara ait hizmet binaları, sanayi ve ticaret alanları, ibadethaneler gibi sosyal yaşamın sürdürüldüğü alanlara girilmemesi noktasında azami hassasiyet gösterilmelidir. Güvenlik açısından da önem arz eden bu durum, tasarlanan güzergâhın kalitesini arttırır. İnsan ve insan yaşamına etki eden unsurlarla birlikte doğal yaşam unsurlarını da göz önünde bulundurarak arazi kullanım amacı alt kriteri dikkate alınır. Hayvanların doğal yaşam alanı olan ormanlar, ülkemiz ekonomisine doğrudan katkı sağlayan tarım arazileri gibi taşınmazların kullanım amacı bu alt kriter kapsamında değerlendirilmelidir.

Çalışmadaki temel yaklaşım, bölgenin yapısına ve bölgede tesis edilecek ENH'larda uygulanması gereken standartlara hâkim ve güzergâhlar belirlenirken dikkat edilmesi gereken hususların farkında olan karar vericiler arasında uygulanacak anket sonucunda çıkan ağırlıklara göre güzergâh tasarımının yapılmasıdır. Bu şekilde kişinin yorumlamasından kaynaklı hataları ortadan kaldırarak, tekrarlanabilir ve bölgeye uygun standartlar oluşturulacaktır.

3.4 AHP için Uzman Görüşlerinin Toplanması

AHP modeline uygun olarak hazırlanan bir anket yardımıyla uzman görüşleri toplanmıştır (EK - 1). Anket soruları bölgeye hâkim üç harita mühendisi, bir harita teknikeri, bir elektrik elektronik teknikeri, 28 elektrik elektronik mühendisi olmak üzere toplam otuz üç kişiden oluşan bir uzman ekibe yöneltilmiştir. Anketlerde uzman katılımcıların ana kriterler ve alt kriterlere vermiş oldukları tutarlı cevap sayısının, toplam katılımcı sayısına oranı Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3. 2 Tutarlı katılımcı oranları

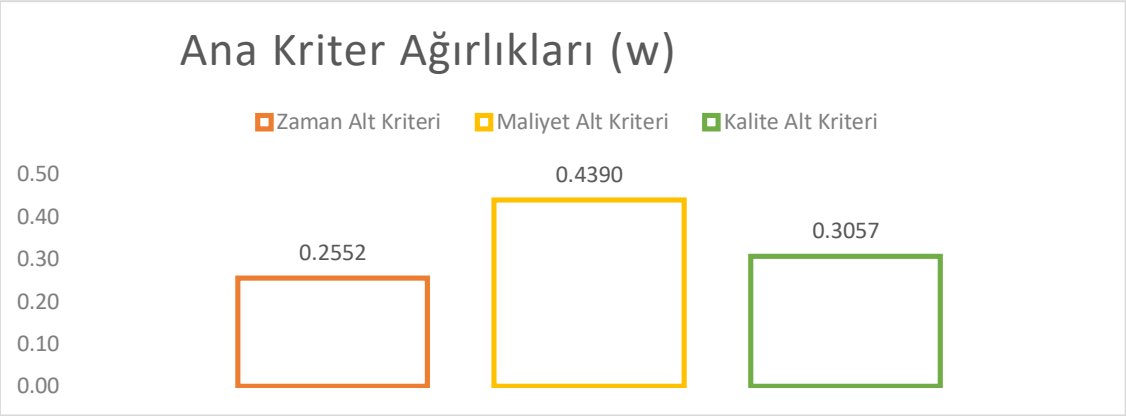
	Ana Kriterler	**Zaman**	**Maliyet**	**Kalite**
Tutarlı cevap veren katılımcı **%**	60.6	66.7	48.5	54.6

Uzmanların yaklaşık %61'inin (20 kişi) ana kriterler için tutarlı hükümler verdiği görülmektedir. Alt kriterler için tutarlılık ortalamaları sırasıyla %67 (22 kişi), %48 (16 kişi) ve %55 (18 kişi)'dir.

Tablo 3.2'deki sonuçlar, zaman alt kriterine ait parametrelerin ikili karşılaştırma süreçlerinde uzmanların büyük bir bölümünün sorun yaşamadan tutarlı cevaplar sunduğunu göstermektedir. Bu durum, zaman alt kriteri altındaki parametrelerin ikili karşılaştırmalarında katılımcıların benzer yaklaşımlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak maliyet (%49) ve kalite (%55) alt kriterleri açısından katılımcıların ilgili parametrelere ait göreceli baskınlık veya tercih edilebilirliklerinde sorun yaşadıklarını ve bu nedenle daha tutarsız sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Tablo 3.2).

Genel anlamda, görüş alınan uzmanların formasyonları onların önem sıralamasında farklı yönelimlerde bulunduklarını göstermiştir. Daha çok işletme alanında uzmanlaşmış olanlar, tesis edilecek ENH güzergâhının işletmesini kolaylaştıracak kriterlere daha yüksek ağırlıklar vermiştir. Proje ve tesisin inşasında görev alan uzmanlar hattın daha az maliyetli ve kaliteli olması kriterlerine daha yüksek ağırlıklar vermiştir. Anket sorularına verilen cevapların tutarlılık oranları bazı ana kriterler ve alt kriterlere aktif bir şekilde proje ve planlama süreçlerinde çalışan uzmanların (tecrübe yılından bağımsız olarak) daha tutarlı yanıtlar verdiği tespit edilmiştir. Uzun yıllar tecrübe kazanmış olsalar dahi proje ve planlama süreçlerinin dışında çalışan uzmanların ise tutarsız karşılaştırmalar yapma ihtimalinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Uzman görüşlerine göre tutarlılık değerlerinin hesaplanmasından sonra, anlamlı tutarlılık değerinin elde edildiği ana ve alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır (Şekil 3. 9, Tablo 3. 3). Sonuçlara göre, ana kriterin (katılımcıların yaklaşık %61'i) değerlendirilmesinde uzman görüşlerinin anlamlı tutarlılık oranının yüksek olmasına rağmen, maliyet alt kriterinin değerlendirilmesinde alanında uzman bir mühendisten beklenen teknik standartlara uyumlu, işletme kolaylığı sunan ve sürdürülebilir bir tesis tasarlaması eğilimi maliyete ait ağırlık düzeyini artıran bir durumdur (Şekil 3. 9).



Şekil 3. 9 Ana kriterlere ait ağırlık düzeyleri (w)

Uzmanların her ne kadar yukarıda belirtilen kriterlere uygun tesisler tasarlama yönelimi olsa da işveren ve yapılan işin mali boyutunu denetleyen yöneticilerin daha düşük bir maliyet beklentisi içerisinde olmaları, maliyet ana kriterine ait tutarlılık oranının düşük çıkmasının temel nedeni olarak söylenebilir. Buna benzer bir durumun zaman ana kriterine ait sonuçlarda da mevcut olduğu görülmektedir. Gündelik hayatın hemen hemen her alanında enerjinin temel bir ihtiyaç halini almış olması, enerji temininin daha kısa sürede karşılanması yönünde uzmanlar tarafından yüksek tutarlık oranında bir fikir birliği oluşturmuştur. Öte yandan, daha kısa sürede enerjinin temin edilebilmesi, maliyeti artıran ve kaliteyi ise düşüren bir süreç olmaktadır (Selen vd., 2022). Bu durum, zaman ana kriterinin en düşük ağırlık düzeyine sahip sonuçlar ürettiğini göstermektedir (Şekil 3. 9). Kalite ana kriteri için hem tutarlılık oranlarında hem de ağırlık düzeylerinde diğer iki kritere göre daha uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Şekil 3. 9 ve Tablo 3. 3).

Tablo 3. 3 Alt kriterlere ait ağırlıklar

Ana-Kriterler	Alt-Kriterler	Ağırlıklar (*w*)
Zaman	Zemin Yapısı	0.3842
	Mülkiyet Durumu	0.3150
	İzin Alma Kolaylığı	0.3008
Maliyet	İşletme Kolaylığı	0.3411
	Ekonomik Ömür	0.2766
	Teknik Standartlar	0.3822
Kalite	Altyapı ve Üstyapı Tesisleri	0.4470
	Sosyal Çevre Etkisi	0.2638
	Arazi Kullanım Amacı	0.2892

Tüm alt kriterlere ait ağırlıklar elde edildikten sonra son aşamada alt kriterlerin ağırlıkları ana kriter ağırlık değerleri de dikkate alınarak normalize edilmiştir (Tablo 3.4). Bu çalışma kapsamında normalize işleminin yapılmasının temel nedeni, ENH tespitini etkileyen tüm kriter ağırlıklarının toplamının 1 (bir) olarak elde edilmesidir. Bu sayede tüm kriterlere ait veriler elde edildikten sonra belirlenen ağırlık düzeyleri ile çarpılarak çalışma bölgesine ait ağırlıklandırılmış maliyet haritası üretilebilecektir. Tablo 3.4'te maliyet alt kriterleri incelendiğinde, alt kriterlere ait farklı parametrelerin göz önünde bulundurulduğu görülmektedir. Bu parametreler, uzman görüşleri alınarak eşit ağırlıklara sahip olacak şekilde düzenlenmiştir. Sonuç olarak, Tablo 3.3'teki alt kriterlere ait ağırlıklar dikkate alınarak normalize edilmiş ve ilgili ağırlıklar hesaplanmıştır (Tablo 3.4).

Tablo 3. 4 Alt kriterlere ait normalize edilmiş ağırlıklar

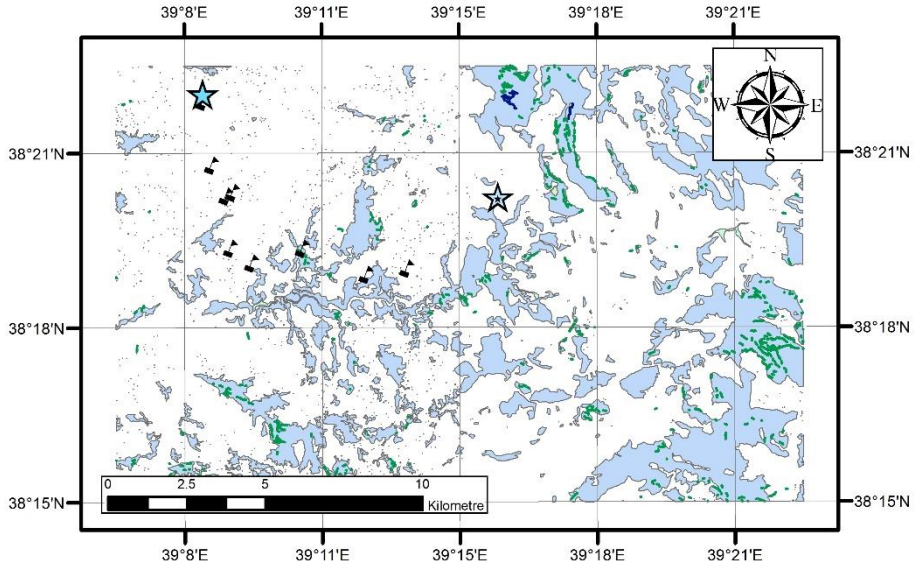
Ana Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar (w)
Zaman	Zemin Yapısı	0.0981
	Mülkiyet Durumu	0.0804
	İzin Alma Kolaylığı	0.0768
Maliyet	İşletme Kolaylığı (Eğim)	0.0749
	İşletme Kolaylığı (Yol)	0.0749
	Ekonomik Ömür (Bakı)	0.1215
	Teknik Standartlar (Buz yükü)	0.0559
	Teknik Standartlar (Heyelan)	0.0559
	Teknik Standartlar (Geniş vadi atlaması)	0.0559

Tablo 3. 5 Alt kriterlere ait normalize edilmiş ağırlıklar (devamı)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar (w)
Kalite	Altyapı ve Üstyapı Tesisleri	0.1367
	Sosyal Çevre	0.0807
	Arazi Kullanım	0.0884
Toplam Ağırlık (w)		1

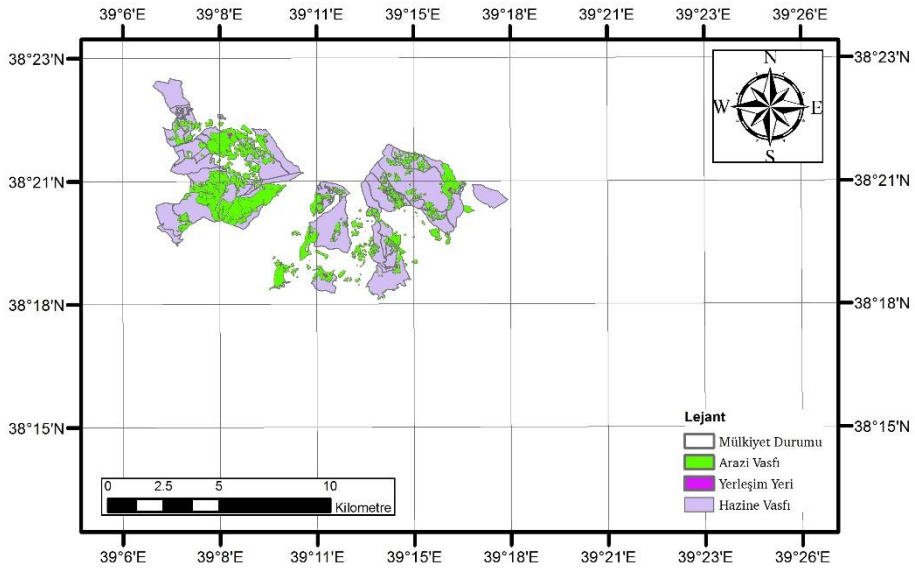
3.5 Kriterlere ait vektör verilerin işlenmesi

ENH güzergâh tespitini etkileyen kriterlere ait veriler, ağırlıklandırılmış maliyet haritasının üretimi için temel veri kaynaklarından temin edilerek CBS ortamında ayrı ayrı hazırlanmıştır. Zemin yapısı alt kriterine ait veriler, çalışma bölgesine ait 1:25K orta ölçekli topografik veri setlerinden temin edilmiştir. Zemin yapısı ile ilgili olarak topografik veri setlerine ait detay açıklamaları kataloğunda çakıllık, kumluk, taşlık, leçelik, lavlı arazi, kayan arazi ve çöken arazi olmak üzere yedi farklı alt detay bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde ise bu alt detaylardan kumluk ve taşlık alanlar mevcuttur (Şekil 3.10). Taşlık alanlar 70.3 km^{2}'lik bir alana sahip iken, kumluk alanlar 0.3 km^{2}'lik bir alan kaplamaktadır.



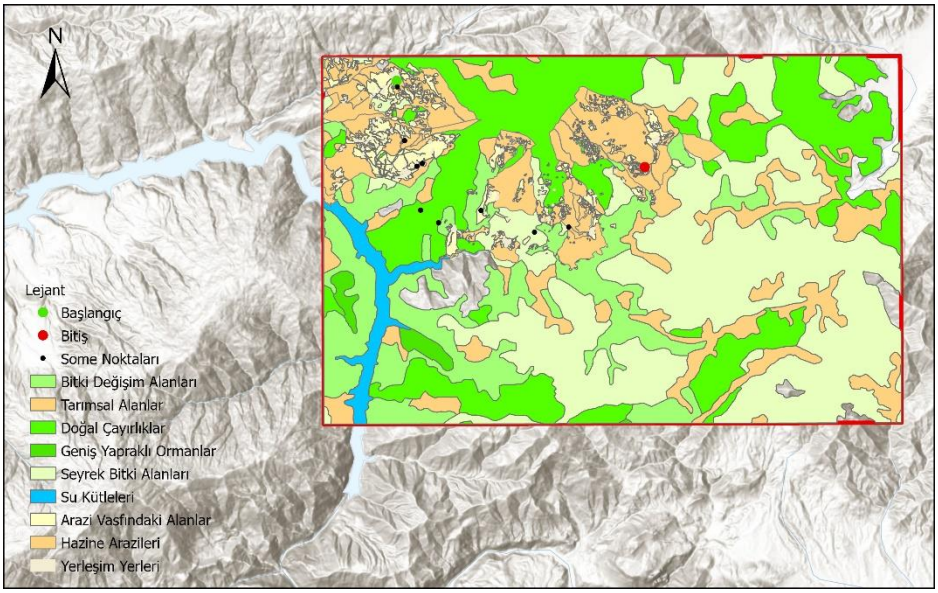
Şekil 3. 10 Zemin yapısına ait vektör veriler

Mülkiyet durumu alt kriterine ait veriler, çalışma bölgesine ait 1:1000 ölçekli kadastro altlıklarından temin edilmiştir. Kadastro altlıklarına ait veriler, yerleşim yerleri, arazi vasfındaki alanlar, hazine arazileri, devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar olmak üzere üç farklı mülkiyet durumu içermektedir (Şekil 3.11). Hazine arazileri çalışma bölgesi içerisinde yaklaşık olarak 48.3 km^{2}'lik bir alana sahiptir. Bu değer, yerleşim yerleri ve arazi vasfındaki arazilerde sırasıyla 0.1 ve 13.1 km^{2}'dir.



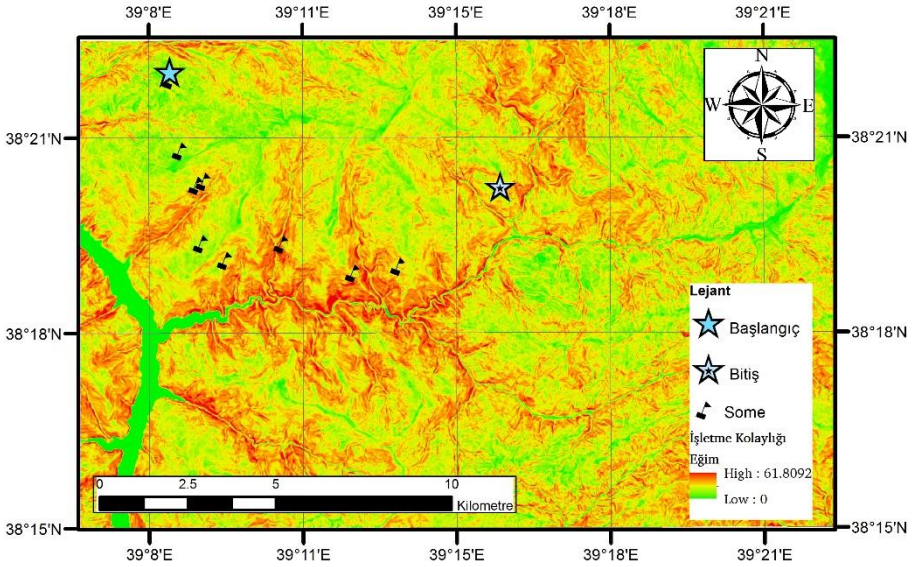
Şekil 3. 11 Mülkiyet durumuna ait vektör veriler

İzin alma kolaylığı kriterine ait veriler kapsamında, bölgedeki arazilerin mülkiyet durumları ve arazinin kullanım türlerine ait bilgiler entegre bir şekilde kullanılmıştır. Mülkiyet durumuna ait veriler için kadastro altlıklarından, arazinin kullanım türüne ait veriler için ise CORINE arazi kullanım/örtüsü haritalarından faydalanılmıştır. İzin alma kolaylığı alt kriterine ilişkin veriler; tarımsal alanlar, geniş yapraklı orman alanları, su kütleleri, yerleşim alanları, bitki değişim alanları, arazi vasfındaki alanlar, seyrek bitki alanları, doğal çayırlıklar, hazine arazileri ve devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar olmak üzere 10 farklı türden oluşmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12 İzin alma kolaylığı alt kriterine ait vektör veriler

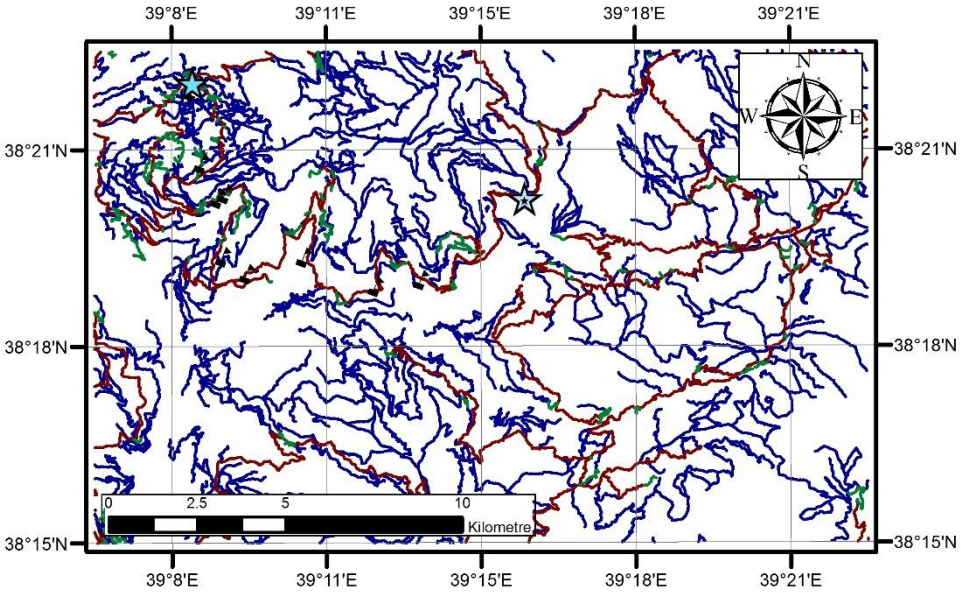
İşletme kolaylığı alt kriteri altında eğim ve yol parametreleri ayrı ayrı incelemeye alınmıştır. Bu nedenle parametreler, eşit ağırlıklara sahip olması dikkate alınarak incelenmiştir. Daha önceden de belirtildiği gibi uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda eşit ağırlıklara sahip olması planlanmıştır (Tablo 3.4). Bu parametrelerden biri olan eğim verisi, fazla olduğu arazilerde heyelan ve sel gibi durumlarda hattın zarar görebilme ihtimali yüksek olduğu için önem arz etmektedir. Bununla birlikte eğimin fazla olduğu arazilerin analizi Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri (EKAT)'nde belirtilen yatay ve düşey yaklaşma mesafelerinin korunabilmesi için gereklidir. ENH güzergâhı geçirilen bölgede çevrenin can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürebilecek bir durumu önlemek ve ENH'ın zarar görerek yeniden bir maliyet çıkarmasının önüne geçebilmek için olabildiğince az eğimli araziler üzerinden güzergâh geçmelidir. Eğim verisinin üretilebilmesi için bölgeye ait SAM verisinin altlık olarak kullanılması gerekmektedir. Bölüm 3.2'de belirtildiği gibi 10 m çözünürlüğe sahip SAM üzerinden eğim haritası ArcGIS yazılımında "Slope" aracı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3.13). Elde edilen eğim haritası 0 ile 61,8 derece arasında değişmektedir.



Şekil 3. 13 İşletme kolaylığı alt kriterine ait eğim haritası

ENH güzergâh tespiti çalışmalarında işletme kolaylığı alt kriteri için önemli olan bir diğer parametre ise ENH güzergâhının mevcut yollara yakınlığıdır. Yol kriteri özellikle ağır kış koşullarında ve buna bağlı herhangi bir arıza durumunda kolay ulaşım sağlanabilmesi adına önemlidir. Arızalara kolay ve kısa sürede müdahale edilmesi, dağıtım şirketlerini maruz kalabileceği cezai yaptırımlardan kurtaracaktır. Bununla birlikte ulaşım esnasında ne kadar az ekipman kullanıldığı da maliyete etki eden bir unsurdur.

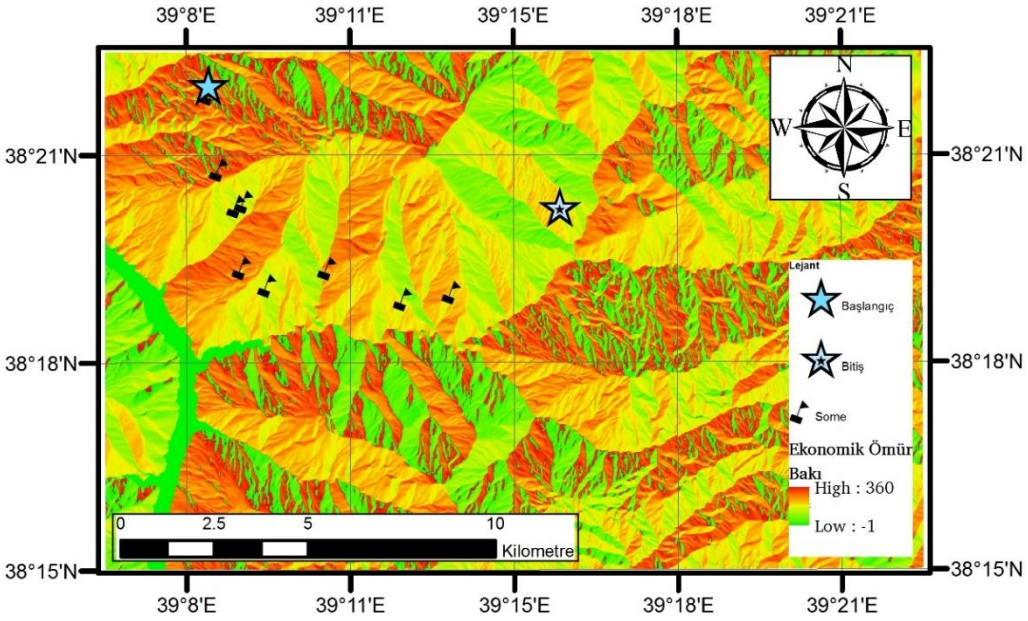
Yol parametresine ait veriler, çalışma bölgesine ait 1:25K orta ölçekli topografik veri setlerinden temin edilmiştir. Yol verisi ilgili olarak topografik veri setlerine ait detay açıklamaları kataloğunda ana arter, bulvar, cadde, devlet yolu, diğer yollar, feribot hattı, iç yol, il yolu, köy yolu, otoyol ve sokak olmak üzere on bir farklı alt detay bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde ise bu alt detaylardan köy yolu, sokak ve diğer yollar mevcuttur (Şekil 3.14). Bu yol detaylarının uzunlukları sırasıyla 218.8, 65.3 ve 808.0 km'dir.



Şekil 3. 14 İşletme kolaylığı alt kriterine ait yol detayları

ENH güzergahlarının tespitini etkileyen bir diğer kriter ise nakil hatlarının ekonomik ömürlerinin yüksek tutulması ihtiyacıdır. Tasarlanan ENH güzergâhı teknik standartlara uyumlu olarak hazırlandığında ekonomik ömrü uzun olacaktır. Ekonomik ömrü uzatacak unsurlardan biri de oluşturulacak olan bakı haritalarıdır. Bakı haritaları, bir bölgenin güneşe karşı olan konumunu yani hangi açıdan baktığını göstermektedir. ENH güzergâh tasarımını, iklim ve yükselti şartlarına göre buzlanma ve don olaylarının yaşanması gibi durumlar etkileyebilmektedir. Bu tür durumlarda ENH iletkeninin buzlanma riskini taşıması, iletkenlerin kopması, izolatörlerin kırılması ve direğin devrilmesi gibi çeşitli durumlar ENH'a zarar verebilmektedir. Bu nedenle, bakı haritaları kullanılarak güneşlenmesi süresi yüksek alanlarda tesis edilmiş bir ENH tasarımının gerçekleştirilmesi ekonomik açıdan ömrünün uzamasına olanak tanır. Bakı haritasının üretilebilmesi için bölgeye ait SAM verisi altlık olarak kullanılmıştır. Bölüm 3.2'de ifade edildiği gibi 10 m çözünürlüğe sahip SAM üzerinden bakı haritası ArcGIS yazılımında "Aspect" aracı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3.15). Şekilde görüleceği üzere çalışma bölgesinin güneşe karşı konumları düz, kuzey, kuzeybatı, kuzeydoğu, güney, güneybatı,

güneydoğu, batı ve doğu olmak üzere toplamda dokuz farklı bakış açısı bulunmaktadır.

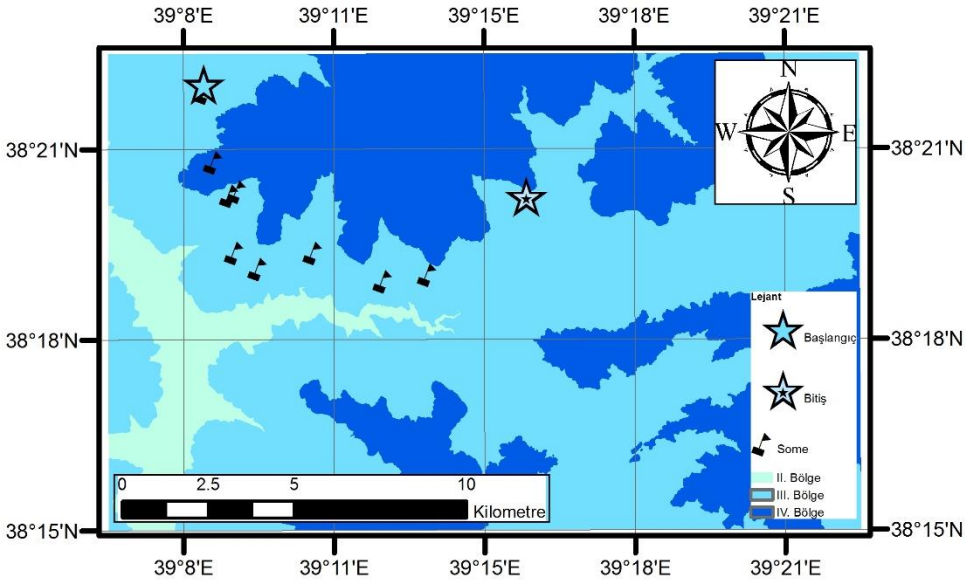


Şekil 3. 15 Ekonomik ömür alt kriterine ait bakı haritası

ENH güzergâhlarının tasarımında maliyet açısından incelenmesi gereken hususlardan biri de güzergâha ilişkin teknik standartların oluşturulması sürecidir. Tasarlanan ENH'ın mühendislik tekniklerine uygun planlanması önemlidir. ENH'ın teknik standartlara uyumlu olarak tasarlanması sürdürülebilirlik anlamında ciddi katkılar sunar. ENH elemanlarının belirli standartlara uyma zorunluluğu bulunmaktadır. ENH tasarımını gerçekleştirirken buz yükü bölgesinin belirlenmesi ve rüzgâr yükü gibi hesapların yapılması, buna bağlı olarak direk tipleri ve iletken tiplerinin seçilmesi güzergâh tespiti açısından önem arz etmektedir. Örneğin, rakım olarak yükseğe çıkıldıkça buz yükü artacağından dolayı buna uygun ve daha ağır direkler seçmek maliyeti arttıracaktır. Yine geniş vadi atlaması yapıldığında, iletkenler vadideki rüzgâr yükünden daha fazla etkilenir. Salınımı azaltmak, ENH'da meydana gelecek arızaların önüne geçmek için bu alanlardan kaçınmak maliyeti düşürecektir. Bu kapsamda teknik standartlar başlığı altında buz yükü, heyelan alanları ve geniş vadi atlaması olmak üzere üç detay incelemeye alınmıştır. Belirlenen bu üç

detaya ait sonuç ağırlıklar için işletme kolaylığı alt kriterinde olduğu gibi uzmanlardan görüşler alınarak ağırlıklı ortalamalar kullanılmıştır (Tablo 3.4).

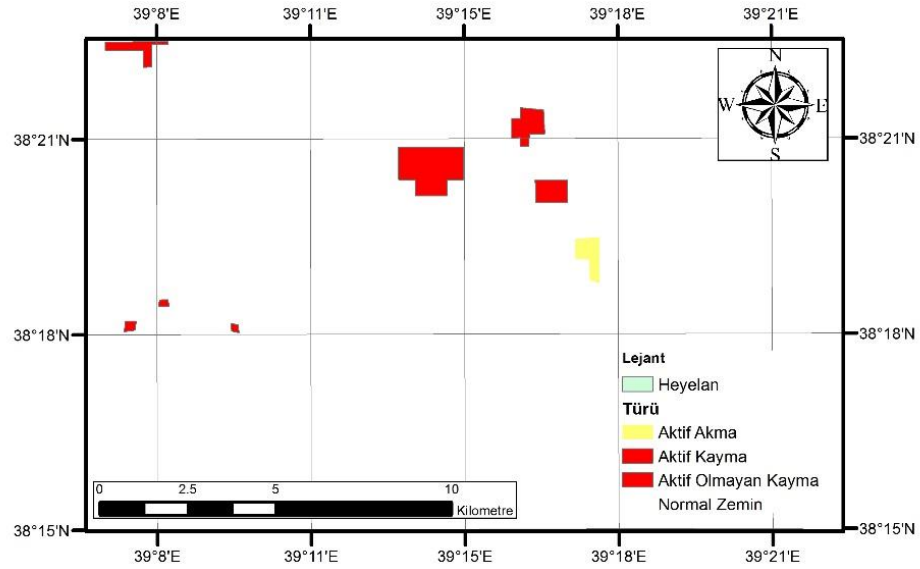
Teknik standartlar alt kriterine ait detaylardan ilki çalışma bölgesine ait buz yükü haritalarının oluşturulmasıdır. Tesis edilen ENH güzergâhının düşük rakımda olması buz yükünün az olmasına dolayısıyla hatta meydana gelebilecek zararların önüne geçerek maliyetin azalması neden olur. EKAT yönetmeliğine göre buz yükü haritaları; 0 – 600 m arası I. Bölge, 601 – 900 m arası II. Bölge, 901 – 1600 m arası III. Bölge ve 1601 m ≤ durumunda IV. Bölge olarak belirlenmiştir. Buz yükü haritalarının oluşturulması için, 1:25K orta ölçekli topografik veri setlerinden 10 m çözünürlüğe sahip SAM verisi kullanılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3. 16 Teknik standartlar alt kriterine ait buz yükü haritası

Teknik standartlar alt kriterine ait bir diğer detay, güzergâh tespiti çalışmalarında önemli yere sahip olan heyelan bölgelerinin tespit edilmesidir. MTA tarafından üretilen 1:500K ölçekli heyelan haritası kullanılarak bölgenin heyelan duyarlılık düzeyi incelenmiştir. 1:500K ölçekli (ERZURUM paftası) heyelan haritası MTA tarafından kullanıcılara ücretsiz olarak paylaşıldığından dolayı bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. İlgili harita üzerinde aktif akma, aktif kayma, pasif akma, pasif kayma ve krip gibi 5 farklı kütle hareket türü

bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde ise bu alt detaylardan aktif akma ve aktif kayma türleri mevcuttur (Şekil 3.17). Bu kütle hareketlerinin kapsadığı alanlar yaklaşık olarak sırasıyla 0.6 km^2 ve 4.0 km^2'dir.

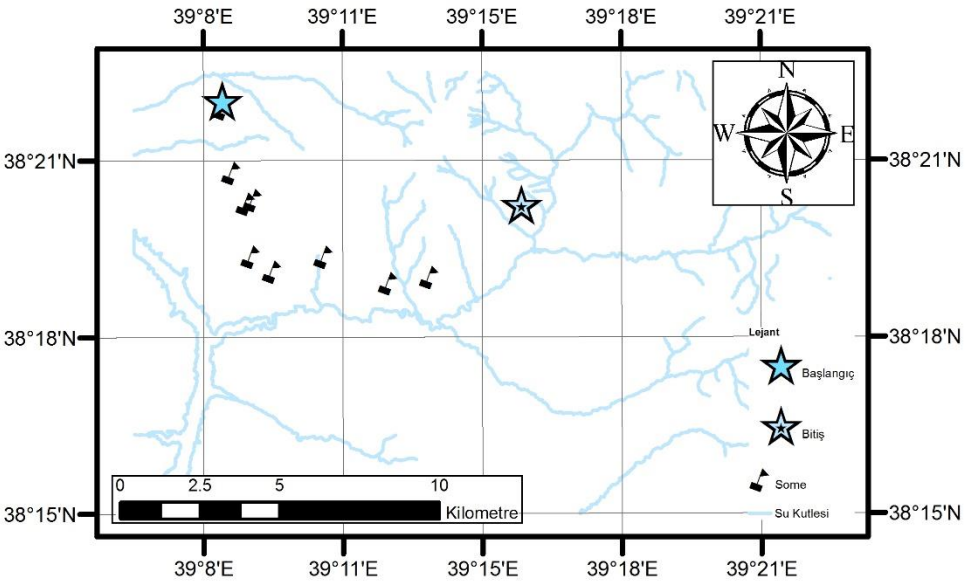


Şekil 3. 17 Teknik standartlar alt kriterine ait heyelan haritası

Güzergâhı belirlenecek olan bir ENH'da hattın açı yaptığı yerlerin yani su kütleleri vb. atlama ve geçişlerin önceden belirlenmesi maliyet açısından önemlidir. Özellikle vadi açıklığının fazla olduğu alanlarda direkler arası açıklık artacaktır. Bununla birlikte vadi alanlarının daha fazla rüzgâr etkisine maruz kalması nedeniyle iletkendeki salınımı arttıracak, iletkenin kopması veya direğin tepe kuvvetini taşıyamayarak devrilmesine neden olabilecektir. Bu durumlar maliyeti arttıracak niteliktedir. Çalışma kapsamında teknik standartlar alt kriteri açısından bir diğer detay olarak su kütleleri (geniş vadi atlaması) incelenmiştir.

Su kütleleri verisi ile ilgili olarak topografik veri setlerine ait detay açıklamaları kataloğunda daimî dere, kuru dere, göl, kıyı, havuz, çeşme, baraj gölü, düden, pınar, deniz, kanal vb. alt detaylar bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde ise bu alt detaylardan daimî dere, kuru dereler ve göl verileri mevcuttur (Şekil 3.18). Bu verilerden kuru dereler, mevsimsel dereler olarak yani kalıcı/sürekli dereler olmaması nedeniyle çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Daimî derelerin

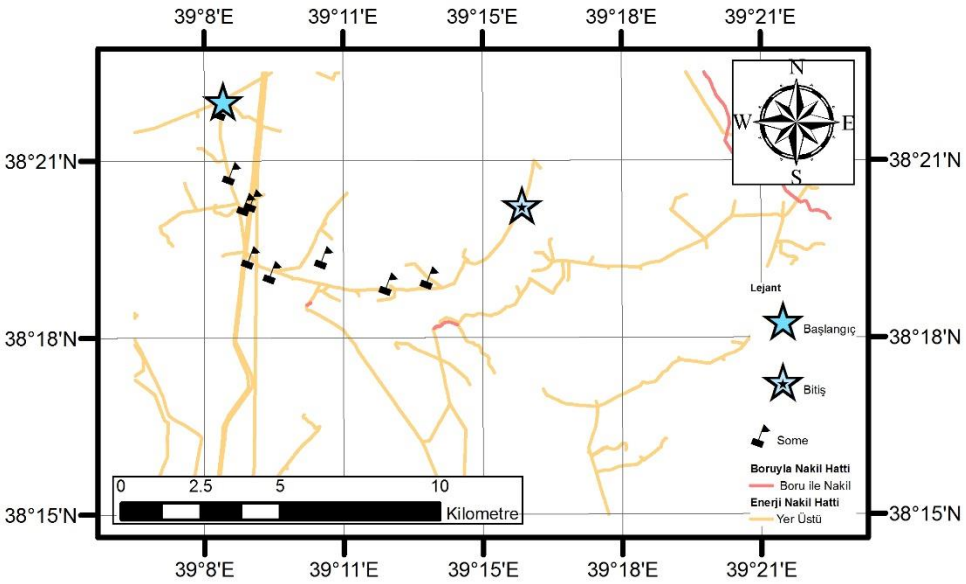
bölgedeki uzunluğu yaklaşık olarak 172,3 km iken, göl verisinin çalışma bölgesinde kapladığı alan yaklaşık 6,1 km^{2}'dir.



Şekil 3. 18 Teknik standartlar alt kriterine ait su kütleleri haritası

ENH tasarımının kalitesini etkileyen faktörler olarak bölgede mevcut olan farklı alt ve üst yapıların varlığı, yerleşim yerlerinin konumları ve arazinin güncel kullanım türlerinin belirlenmesi gösterilebilir. Bu nedenle kalite ana kriteri alt-üst yapılar, sosyal çevre ve arazi kullanım olarak üç grupta incelenmiştir.

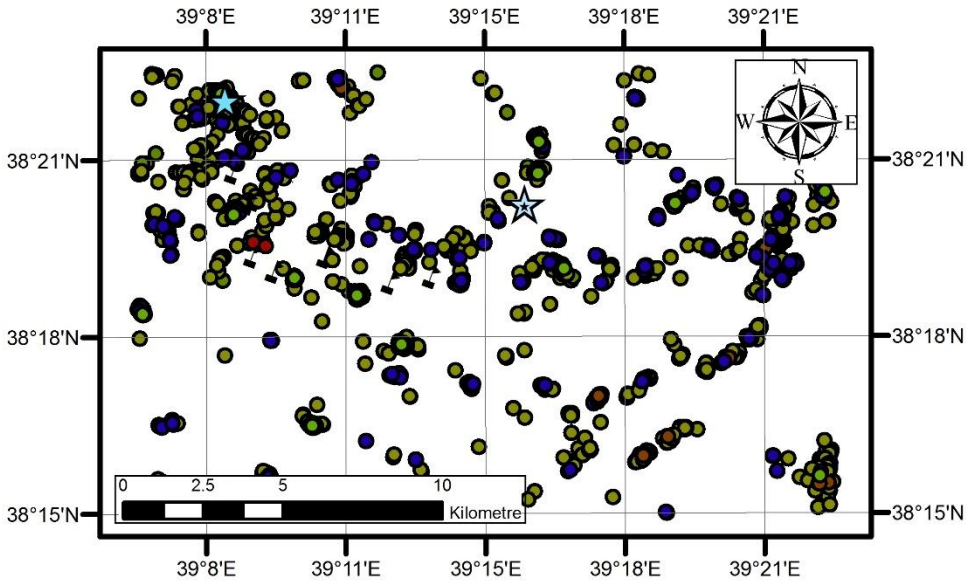
Altyapı ve üstyapı tesisleri ile uyumlu hatlar tasarlamak kamu kaynaklarının doğru kullanılması açısından önemlidir. Aynı bölgeye âtıl yatırım yapmak kamuya mali bir yük oluşturduğu gibi birbirlerini engellememesi adına da önemli bir unsurdur. Bu şartlara azami ölçüde dikkat ederek planlanan ENH güzergâhları aynı zamanda kaliteli olarak değerlendirilmektedir. Altyapı ve üstyapı tesisleri ile ilgili olarak 1:25K orta ölçekli topografik veri setlerine ait detay açıklamaları kataloğunda anten, mareograf istasyonu, rüzgâr elektrik santrali, radyo/tv hattı, enerji nakil hattı, boru ile nakil hatları vb. alt detaylar bulunmaktadır. Çalışma bölgesinde ise bu alt detaylardan enerji nakil hattı ve boru ile nakil hatları kullanılmıştır (Şekil 3.19). Bölgede mevcut olan ENH'ların uzunluğu 180,6 km iken, boru ile nakil hatlarının uzunluğu ise 7.8 km'dir.



Şekil 3. 19 Çalışma bölgesindeki altyapı ve üstyapı tesisleri

ENH güzergâhı tasarlanırken bir diğer kalite kriteri yerleşim bölgelerine olan mesafenin belirlenmesidir. Tasarlanacak ENH güzergâhının yerleşim merkezlerinden ve nüfus yoğunluğu olan alanlardan geçmemesi gerekir. Bu türdeki alanların tespit edilmesi için 1:25K orta ölçekli topografik veri setlerinden faydalanılmıştır. Sosyal çevre alt kriteri ile ilgili olarak topografik veri setlerine ait "yerleşim" detay grubunda bina, yapıt, mezarlık, ağıl, park vb. alt detaylar bulunmaktadır. Alt detaylar arasından bölgede mevcut olan büyük bina, küçük bina ve depolama tesisleri çalışma kapsamında sosyal çevre alt kriteri altında incelemeye alınmıştır. Burada, büyük bina (çokgen) verileri haricindekiler detaylar nokta geometri türü ile veri tabanında depolanmıştır. Verilerin gerçekleştirilecek analiz işlemleri öncesinde birlikte kullanılabilmesi için çokgen geometri türüne dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, kartografik açıdan gözün teorik olarak milimetrenin 1/5'i kadar bir büyüklüğü ayırabildiği ve bu büyüklüğün 1:25K ölçekli bir haritada 5 m'ye karşılık geldiğinin bilinmesiyle birlikte bu veriler yarıçapı 5 m'den fazla olacak şekilde bir çokgen geometri türüne dönüştürülmüştür. Bu kapsamda, yaklaşık olarak 6,25 m yarıçapına ve çokgen geometri türüne sahip küçük bina ve küçük depolama tesisi verileri elde edilmiştir. Büyük binalar çalışma bölgesinde

yaklaşık olarak 9853.6 m^2'lik bir alana sahip iken, bu değer küçük bina ve küçük depolama tesisleri için sırasıyla 435.000 m^2 ve 5154.1 m^2'dir (Şekil 3.20).



Şekil 3. 20 Çalışma bölgesindeki yerleşim alanları

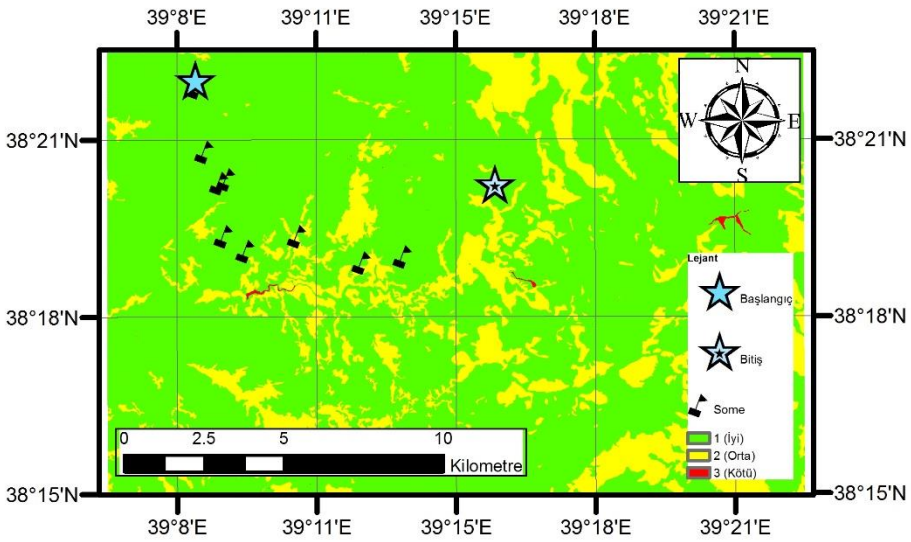
ENH güzergâhı tespit edilirken arazi kullanım amacı analizi tarım arazileri ve doğal yaşam döngüsünü korumada önemlidir. Bölgeye ait arazi kullanım haritaların üretilmesinde daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi CORINE haritaları kullanılmıştır. Çalışma bölgesinin arazi kullanım/arazi örtüsü haritasının genel görünümü Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

3.6 Kriterlere ait yeniden sınıflandırılmış raster haritaların üretilmesi

ENH güzergâh tespitine etki eden tüm kriterlere ait vektör veriler hazırlandıktan sonra, güzergâh ağ analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için raster veri formatlarına dönüştürülmüştür. Veri katmanları, enerji hattının yönlendirilebilmesi için detayların uygunluğuna göre yeniden sınıflandırılmıştır. İlk olarak veriler raster hesaplama için anlamlı raster kümelerine dönüştürülmüştür. Sonrasında, güzergâh seçimi için en uygun bölgeler 1 (iyi), en kötü bölgeler 3 (kötü) ve ortalama bölgeler ise 2 (orta) olarak sıralanmıştır. Son olarak, elde edilecek raster veri katmanları uzman görüşlerinden elde edilen

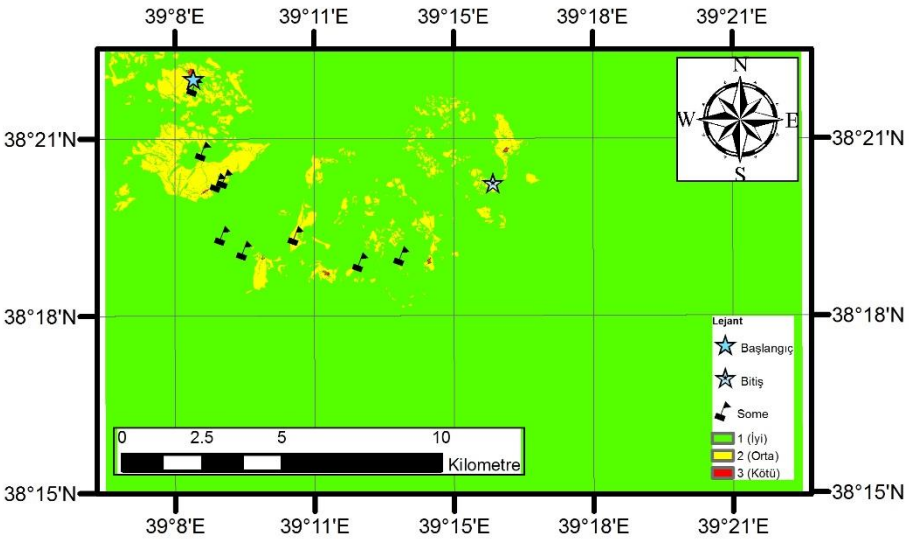
ağırlıklar ile çarpılarak üst üste bindirilmiş ve ağırlıklandırılmış maliyet haritası oluşturulmuştur.

Zemin yapısı alt kriteri için, kumluk alanlar etrafındaki sulak alanlar dikkate alınarak kötü, taşlık alanlar orta ve bunların dışında kalan alanlar iyi olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen raster harita Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



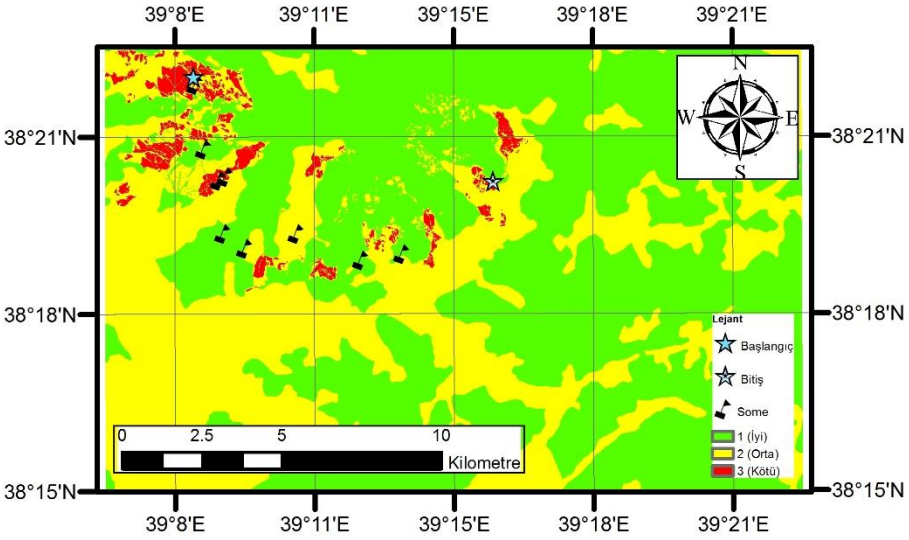
Şekil 3. 21 Yeniden sınıflandırılmış zemin yapısı kriteri

Mülkiyet durumu alt kriteri için, yerleşim yerleri kötü, arazi vasfındaki alanlar orta, hazine arazileri ve devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar iyi olmak üzere üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita Şekil 3.22'de gösterilmektedir.



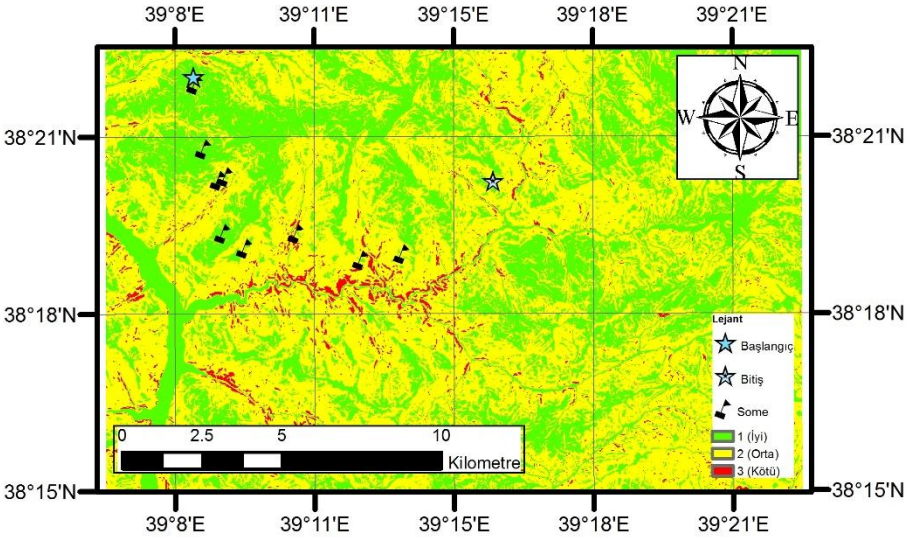
Şekil 3. 22 Yeniden sınıflandırılmış mülkiyet durumu kriteri

İzin alma kolaylığı kriteri altında arazilerin mülkiyet durumu ve kullanım amacı birlikte değerlendirilmiştir. Tarımsal alanlar, geniş yapraklı orman alanları, su kütleleri ve yerleşim yerleri kötü, bitki değişim alanları ve arazi vasfındaki alanlar orta, seyrek bitki alanları, doğal ve çıplak çayırlıklar, hazine arazileri ve devletin hüküm ve tasarrufu altındaki alanlar iyi olmak üzere üç sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita Şekil 3.23'de gösterilmektedir.



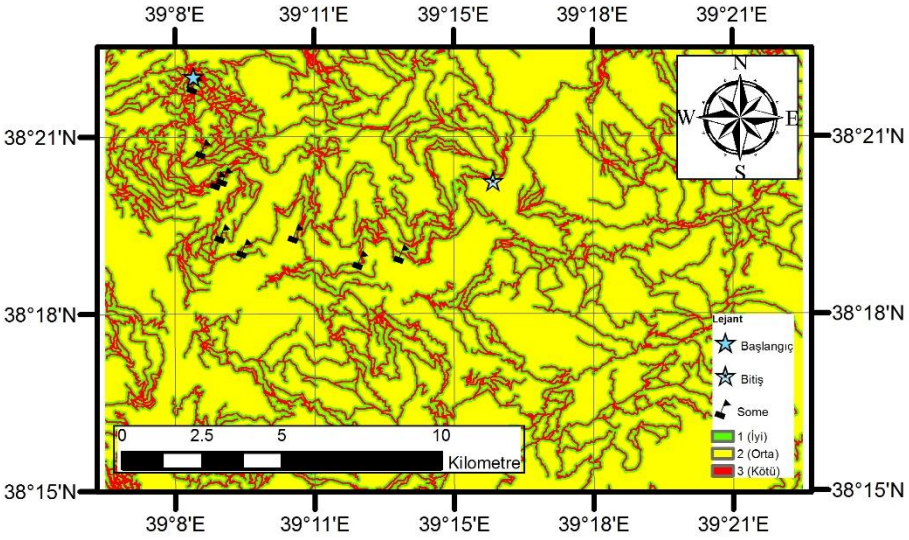
Şekil 3. 23 Yeniden sınıflandırılmış izin alma kolaylığı kriteri

ENH güzergâhı geçirilen bölgede çevrenin can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürebilecek bir durumu önlemek ve ENH'ın zarar görerek yeniden bir maliyet çıkarmasının önüne geçebilmek için olabildiğince az eğimli araziler kullanmaya özen gösterilmiştir. 0 – 20,6 m arası iyi, 20,6 – 41,2 m arası orta ve 41,2 – 61,8 m arası kötü olmak üzere üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita Şekil 3.24'de gösterilmektedir.



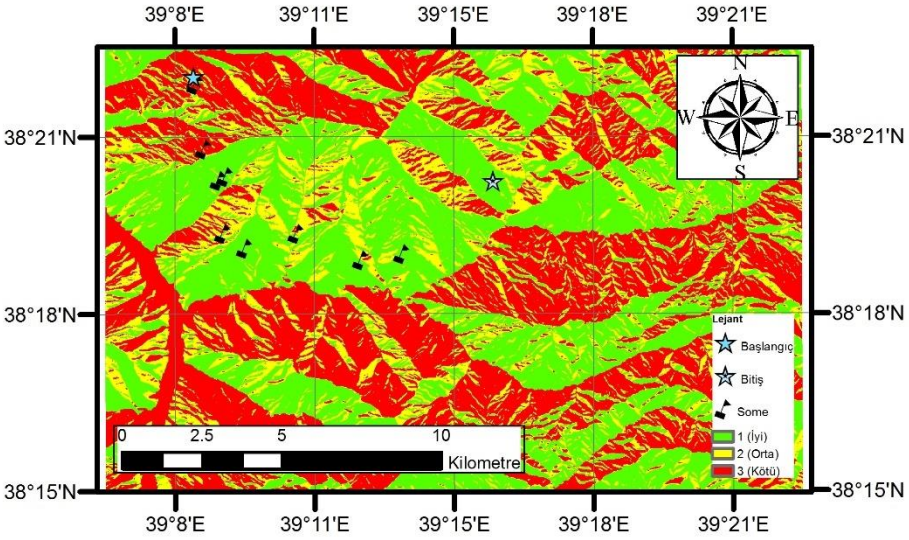
Şekil 3. 24 Yeniden sınıflandırılmış eğim kriteri

Yol için yapılan değerlendirmede EKAT Yönetmeliği'nde belirtilen direğin toprak üstü boyuna iki metre ilave edilerek çalışılmıştır. Bölgede mevcutta tesis edilmiş vaziyette bulunan ENH için kullanılan en yüksek direğin toprak üstü 25 m olduğu için, yola en fazla yaklaşma mesafesi 27 m olarak belirlenmiştir. Yolun orta merkezinden 0-27 m arası kötü, 27-81 m arası iyi ve 81 m'den daha fazla mesafeler orta olmak üzere üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. Sınıfın mesafe değerine göre sıralı olmayışındaki temel neden; girilmesi EKAT'a göre mümkün olmayan alana dikkat edilirken, yola olabildiğince yakın bir güzergâh tasarlama isteğidir. Bu kriterlere göre elde edilen raster harita Şekil 3.25'de gösterilmektedir.



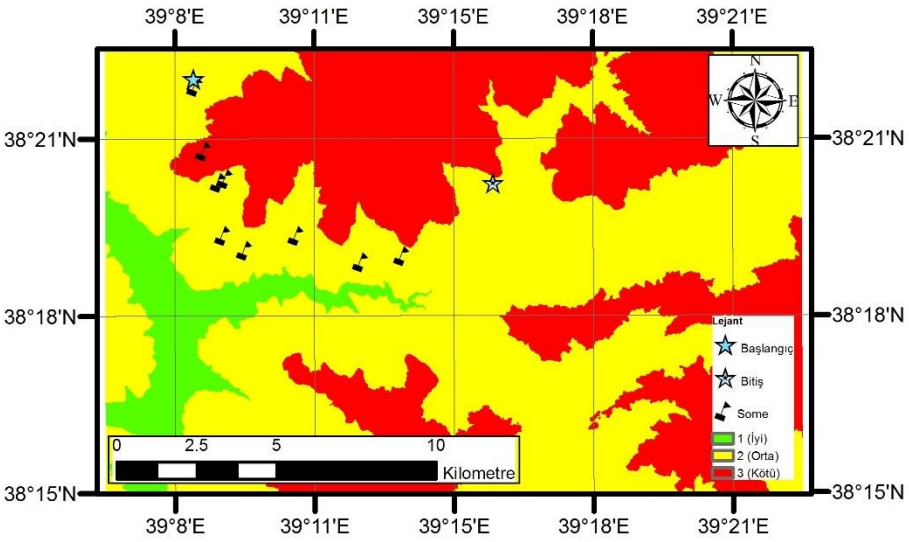
Şekil 3. 25 Yeniden sınıflandırılmış yol kriteri

ENH iletkeninin buzlanma riskini taşıması, iletkenlerin kopması, izolatörlerin kırılması ve direğin devrilmesi gibi çeşitli nedenler gerçekleştirilen ENH tasarımına zarar verebilir. Bu nedenle güneşlenmesi süresi yüksek alanlarda tesis edilmiş bir ENH'ın ekonomik ömrü uzun olur. Bakı kriterine ait değerlendirmede, güneşlenme süresi dikkate alınarak, güney, güneybatı ve güneydoğu yönleri iyi, doğu ve batı yönleri orta, kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönleri ise kötü olacak şekilde üç sınıf oluşturulmuştur. Bu sınıflara göre elde edilen raster harita Şekil 3.26'de gösterilmektedir.



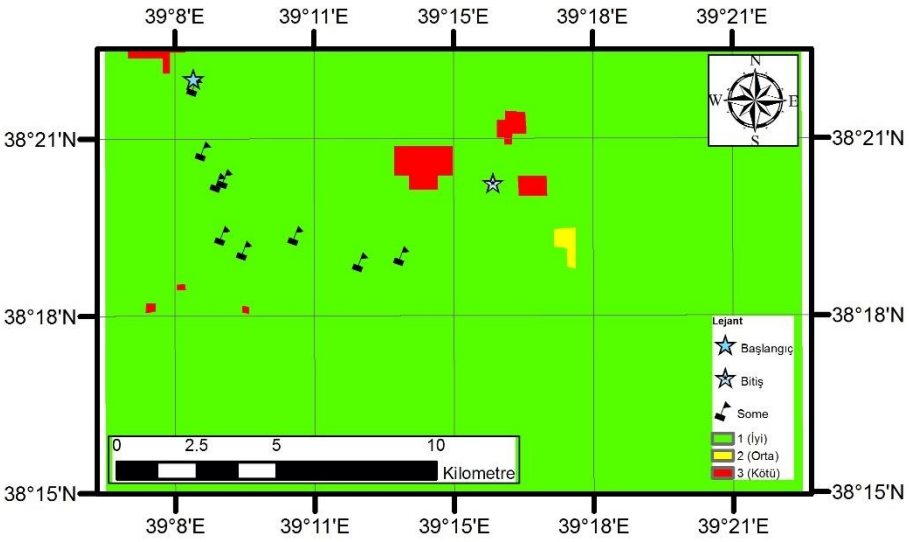
Şekil 3. 26 Yeniden sınıflandırılmış bakı kriteri

EKAT yönetmeliğinde buz yükü haritalarının oluşturulmasında I. Bölge (0 – 600 m arası), II. Bölge (601 – 900 m arası), III. bölge (901 – 1600 m arası) ve IV. Bölge (1601 m ve daha yüksek) türünde sınıflar belirlenmiştir. Tesis edilen ENH güzergâhının düşük rakımda olması buz yükünün az olmasına dolayısıyla hatta meydana gelebilecek zararların önüne geçerek maliyetin azalması neden olur. Çalışmada bu bölgelere uyumlu olacak şekilde üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. Buna göre bölgedeki en düşük kottan başlamak üzere 684 – 900 m arası iyi, 901 – 1600 m arası orta ve 1601 – 2347 m arası kötü olarak gruplandırılmıştır. Elde edilen raster harita Şekil 3.27'de gösterilmektedir.



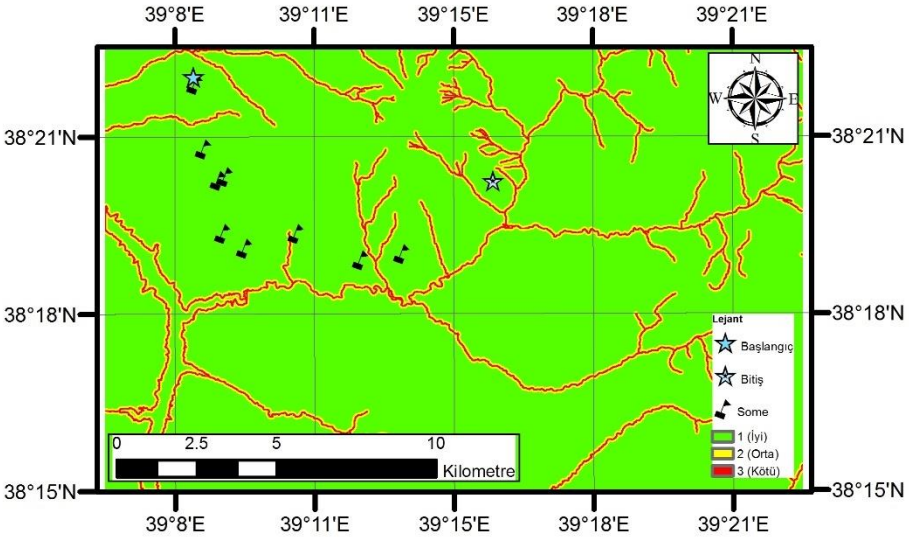
Şekil 3. 27 Yeniden sınıflandırılmış buz yükü kriteri

Heyelan bölgelerine ait yeniden sınıflandırılmış raster veriyi üretmek için çalışma alanında yer alan aktif kayma, aktif akma ve aktif olmayan kayma alanları sayısallaştırılmış ve bu verilere ilgili sınıf atamaları yapılmıştır. Buna göre heyelan riski taşıyan alanlar kötü (aktif kayma), aktif akma alanları orta ve bunların dışında kalan alanlar iyi olmak üzere üç sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita Şekil 3.28'da gösterilmektedir.



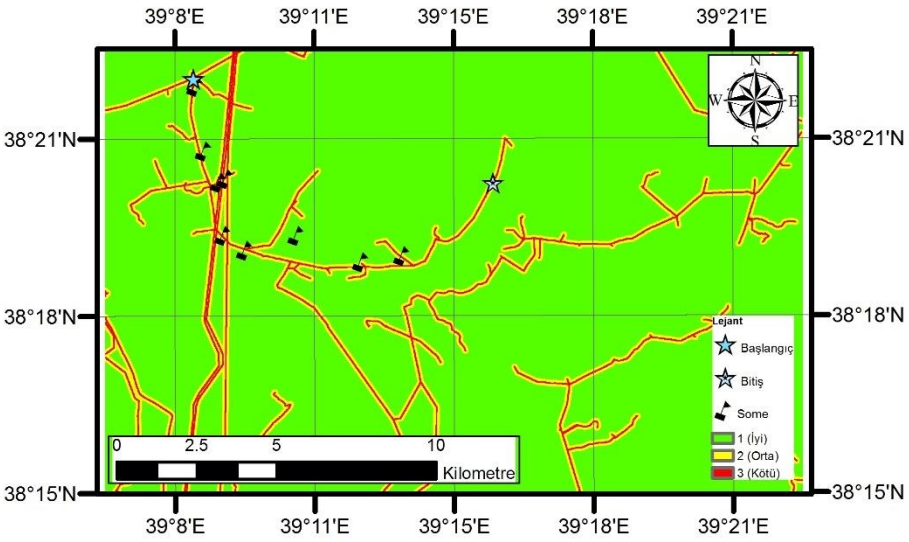
Şekil 3. 28 Yeniden sınıflandırılmış heyelan kriteri

Geniş vadi atlaması kriterine ait yeniden sınıflandırılmış raster harita, çalışma bölgesindeki su kütleleri dikkate alınarak üretilmiştir. Çalışmada su kütlelerine ait hat boyunca 0 – 27 m arası kötü, 28 – 81 m arası orta ve 81 m ve yukarısı iyi olmak üzere üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita 3.29'de gösterilmektedir.



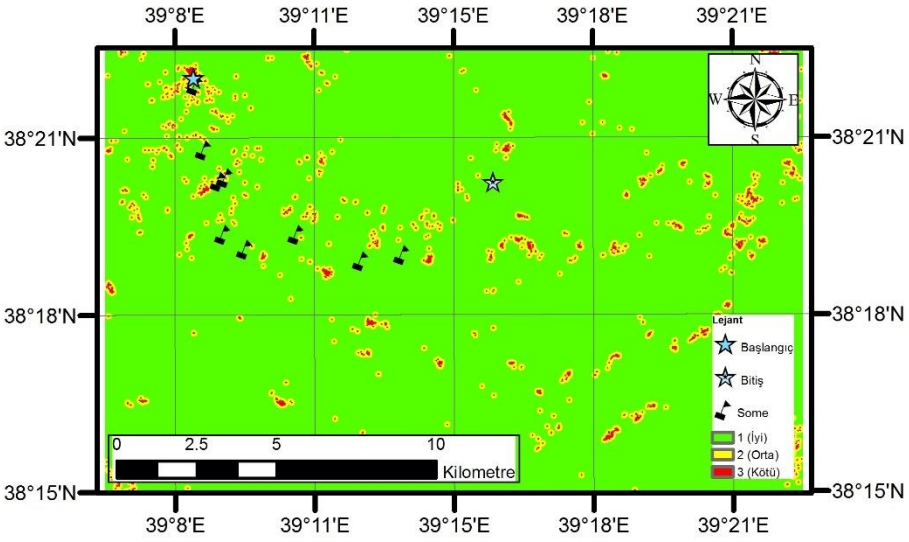
Şekil 3. 29 Yeniden sınıflandırılmış geniş vadi atlaması kriteri

Çalışma bölgesinde mevcut bulunan ENH'lar ve boru ile nakil hattı altyapı ve üstyapı tesisleri başlığı altında incelenmiştir. Buradaki sınıflandırma 0 – 25 m arası kötü, 26 – 100 m arası orta ve 100 m ve daha uzak olan alanlar iyi olmak üzere üç ayrı sınıfta değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen raster harita Şekil 3.30'de gösterilmektedir.



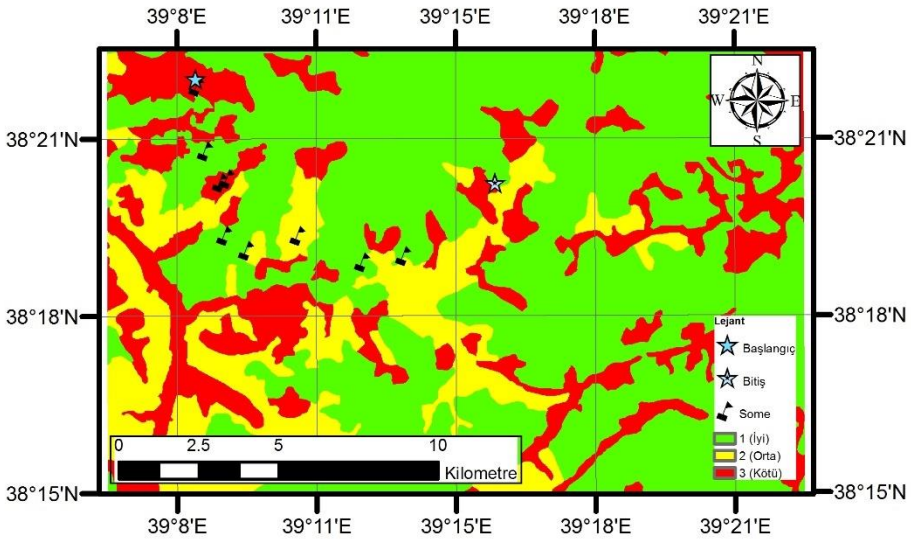
Şekil 3. 30 Yeniden sınıflandırılmış altyapı ve üstyapı kriterleri

Yerleşim alanları içerisinde büyük bina, küçük bina ve depolama tesisleri çalışma kapsamında sosyal çevre alt kriteri altında incelemeye alınmıştır. Bu detaylar 0 – 27 m arası kötü, 28 – 200 m arası orta ve 200 m ve daha uzak alanlar iyi olmak üzere üç ayrı sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita Şekil 3.31'de gösterilmektedir.



Şekil 3. 31 Yeniden sınıflandırılmış sosyal çevre kriteri

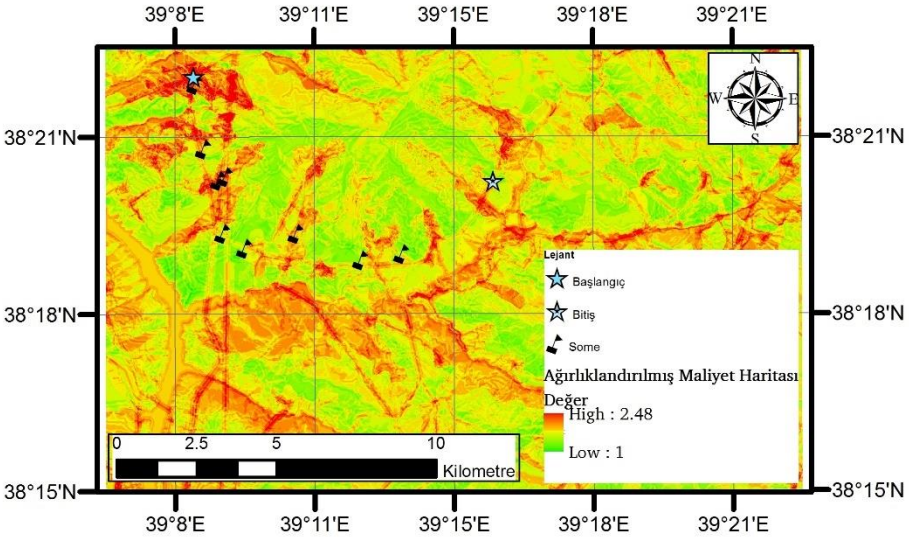
Son kriter olarak arazi kullanım haritalarının yeniden sınıflandırılması için daha önceden belirtildiği gibi CORINE arazi kullanım/örtüsü haritaları kullanılmıştır. Bu haritalarda mevcut olan detaylar arasından tarımsal alanlar, geniş yapraklı orman alanları ve su kütleleri kötü, bitki değişim alanları orta, seyrek bitki alanları, doğal ve çıplak çayırlıklar iyi olmak üzere üç sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen raster harita Şekil 3.32'da gösterilmektedir.



Şekil 3. 32 Yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım kriteri

3.7 Ağırlıklı maliyet haritasının (AMH) oluşturulması

ENH güzergâh tasarımına etki eden bütün kriterlere sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek raster formatına dönüştürüldükten sonra, piksel tabanlı aritmetik işlemlere tabi tutularak ağırlıklandırılmış maliyet haritası (weighted cost map) ya da başka bir ifadeyle ağırlıklandırılmış maliyet yüzeyi (weighted cost surface) oluşturulmuştur. Her bir kriter için olması gereken ağırlık değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için, ilk olarak her bir kriter ilgili ağırlık değerleri ile çarpılmıştır. Sonrasında ağırlıklı sonuç kriterler birbirleri ile toplanarak AMH elde edilmiştir. Bu işlem, ArcGIS yazılımında "raster calculate" aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.33).



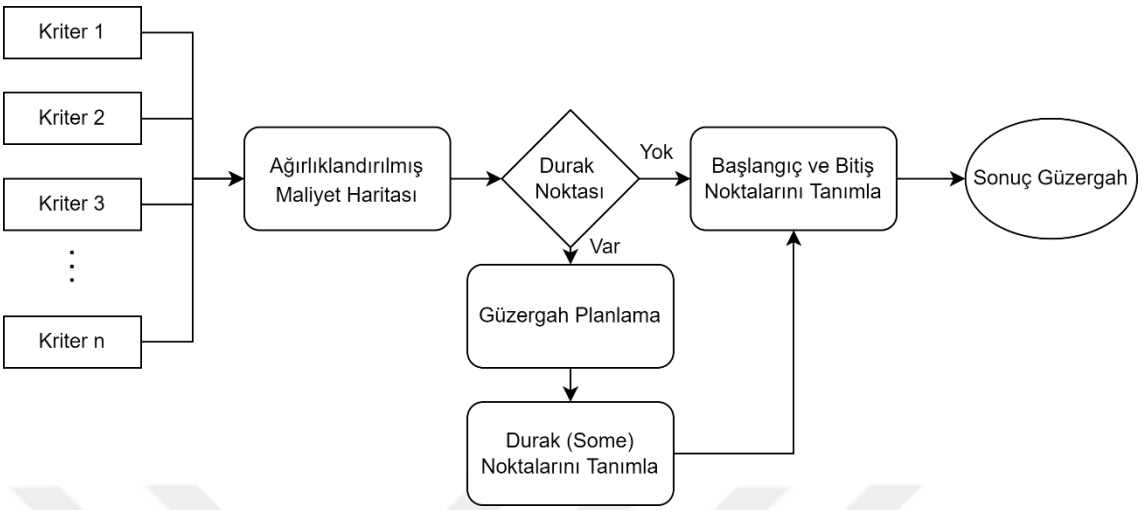
Şekil 3. 33 Çalışma bölgesinin ağırlıklandırılmış maliyet haritası

Oluşturulan harita üzerinde piksellerin aldığı değerler, yüzey üzerinden o alana ait toplam geçiş maliyetine karşılık gelmektedir. Yüzey üzerinde rakamsal değerler arttıkça ENH güzergâhı tasarımı için geçiş maliyeti de artmaktadır.

3.8 ENH tasarımı için en az maliyetli güzergâhın belirlenmesi

ENH, üretim santralinden elektriği alarak tüketim yapılacak noktaya ulaştırmada çok uzun mesafeler boyunca inşa edilmektedir. Temel olarak, mevcut elektrik iletimini ihtiyaçlar doğrultusunda kaynak noktasından hedef noktasına doğru aktarmaktadırlar. Çoğu durumda, mesafelerin uzaması ile birlikte doğrudan hedef noktaya ulaşmak zor olur. Bu nedenle güzergâh tasarım hattı boyunca birden çok uğranılması gereken some noktasının belirlenmesi gerekir. ENH güzergâhının planlanması için etkin bir dağıtım model ağı kullanılmalıdır (Şekil 3.34). Bu model ağında bir maliyet ve bir yön tabakası oluşturulur. Güzergâhın tasarımı bu iki tabaka üzerinden gerçekleştirilebilir. Tasarım hattı boyunca eğer başlangıç (kaynak) ve bitiş (hedef) noktaları arasında birden fazla durak noktasına ihtiyaç duyulur ise her bir durak ilk olarak hedef noktası olarak tanımlanır. Sonrasında en son hedef noktasına kadar tüm durak noktalarında güzergâh tespit işlemi iteratif olarak gerçekleştirilir. ENH tasarımı için toplamda n-1 adet farklı güzergâh tespit edilir. Son olarak, noktalar arasındaki parçalı

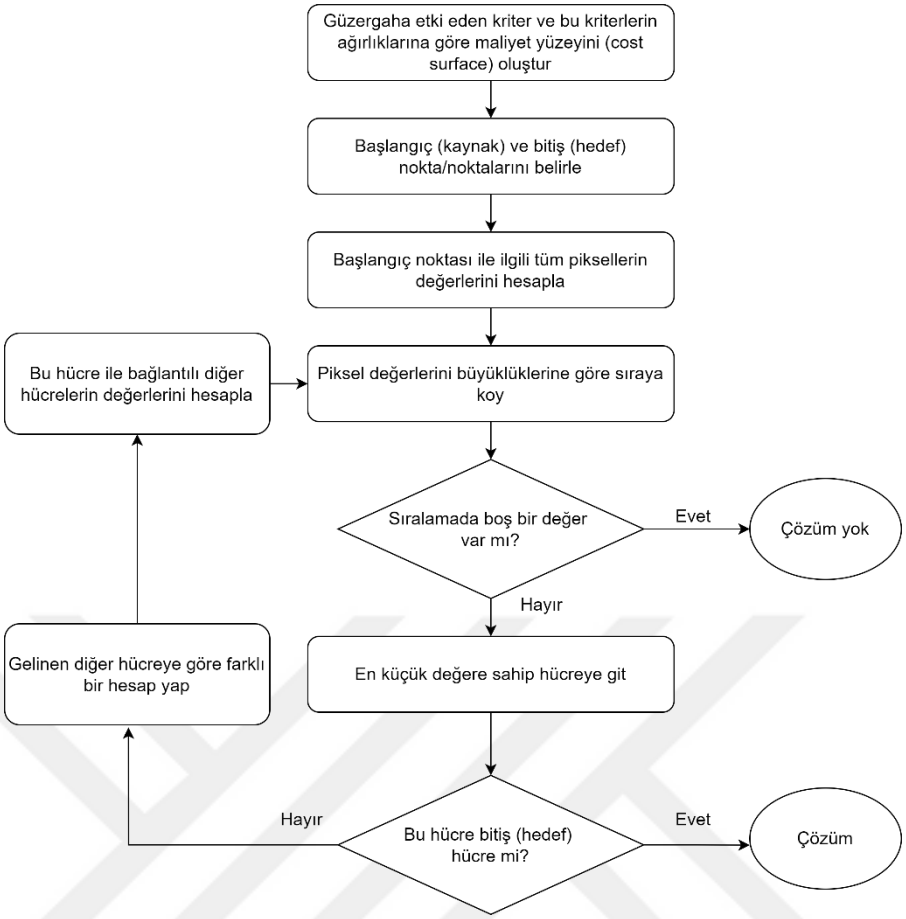
güzergâhlara birleştirme işlemi uygulanarak sonuç güzergâh oluşturulur (Yıldırım, 2009).



Şekil 3. 34 ENH güzergâhının planlanma modeli (Yıldırım, 2009)

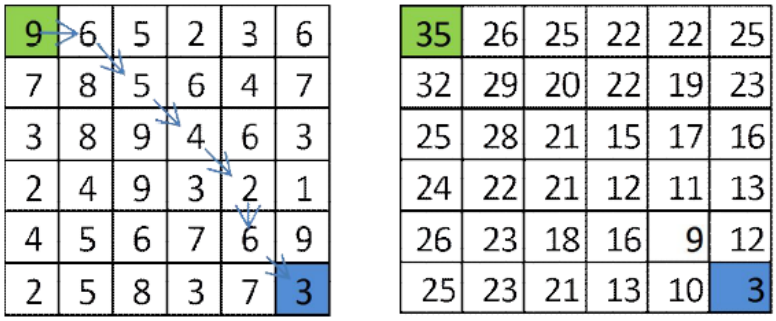
Çalışma bölgesinde güzergâh hattının belirlenmesi için başlangıç, bitiş ve 9 adet durak (some) noktası olmak üzere 11 nokta kullanılmıştır. Tüm güzergâhın elde edilebilmesi için toplamda 10 farklı alt güzergâh oluşturulmuştur. Elde edilen alt güzergâhlar birleştirilerek sonuç güzergâh tespit edilmiştir.

AMH üzerinden en az maliyetli yol analizi işleminin gerçekleştirilmesi için, daha önceden ifade edilen maliyet mesafesi (cost distance) ve geri bağlantı yani yön mesafesi (back link) raster tabakalarına ihtiyaç duyulmuştur. En az maliyetli ENH güzergâhının belirlenmesi için ArcGIS yazılımındaki “Cost Distance” aracı kullanılmıştır. Bu aracın çalışma prensibi Şekil 3.35’de gösterilmiştir (Yıldırım, 2009; Eroğlu, 2014).



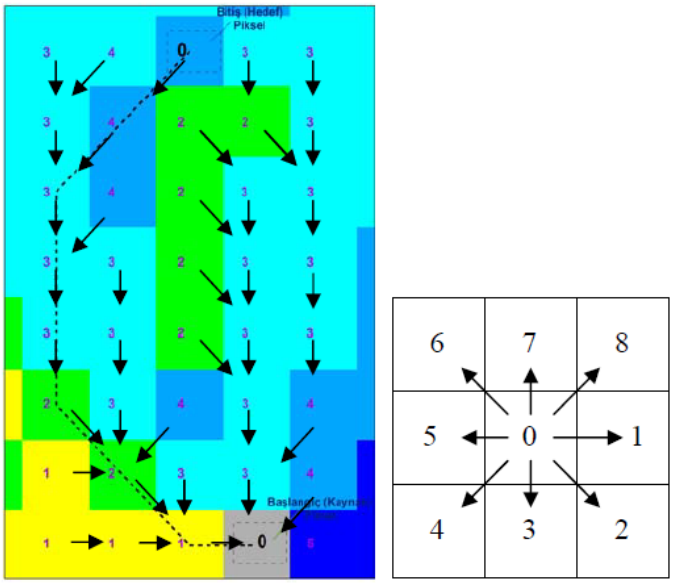
Şekil 3. 35 Maliyetli mesafe algoritmasının çalışma prensibi (Yıldırım, 2009; Eroğlu, 2014)

Maliyetli mesafe algoritması işleminde ilk olarak daha önceden de belirtildiği gibi ENH güzergâhına etki eden tüm kriterlere ait ağırlıklar belirlenerek maliyet yüzeyi hesaplanmıştır. Belirlenen maliyet yüzeyi üzerinden başlangıç (kaynak) ve bitiş (hedef) noktaları tanımlanmış ve bu noktaların piksel değerleri "0" olarak atanmıştır. Sonrasında, bu piksellere komşu olan piksellere ait değerler hesaplanmış ve büyüklük değerlerine göre sıralanmıştır. Maliyet yüzeyi (haritası) tüm piksel değerleri dikkate alınarak her bir pikselin birikmiş maliyet değerleri üzerinden iteratif olarak oluşturulmuştur. Maliyetli mesafe algoritması ile elde edilen örnek bir biriktirilmiş maliyet haritası ve AMH Şekil 3.36'de gösterilmiştir (Yıldırım, 2009; Eroğlu, 2014).



Şekil 3. 36 Ağırlıklandırılmış maliyet haritası (sol) ve biriktirilmiş maliyet haritası (sağ) (Eroğlu, 2014)

Biriktirilmiş maliyet haritasının değerlerine göre başlangıç noktasından bitiş noktasına doğru güzergâhın belirlenmesi için piksellerin ağırlık değerlerine göre, pikseller arası geçiş yönünün tanımlandığı yön katmanı oluşturulur. Bu katmanın (back link raster) oluşturulmasında sekiz farklı yöne ait değerler belirlenir (Şekil 3.37).

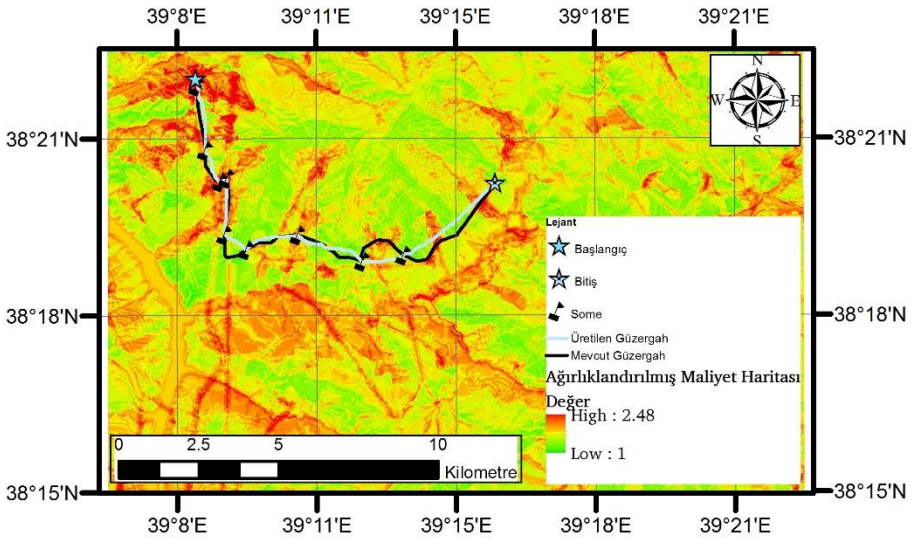


Şekil 3. 37 ENH güzergâh geçişini gösteren örnek yön katmanı (Yıldırım, 2009)

Şekil 3.37'de örneğin bir pikselden diğerine geçişte sol-üst yönü kullanılacaksa "6" değeri, sağ yönü kullanılacak ise "1" değeri atanır.

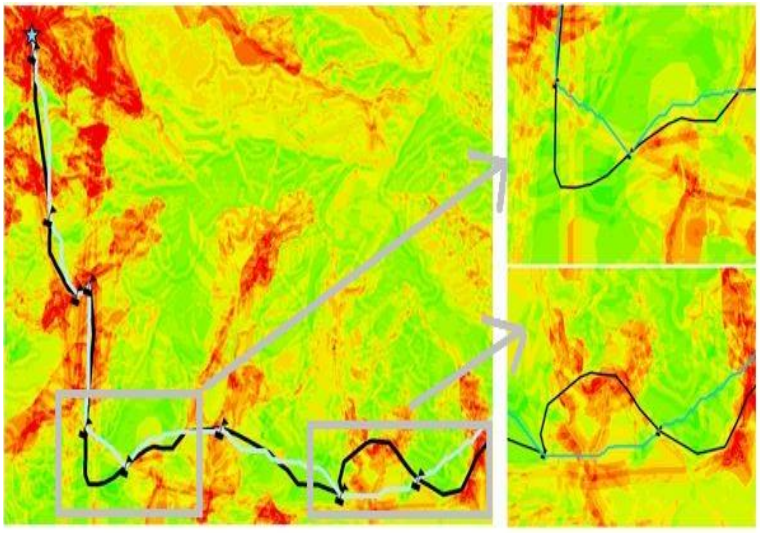
Maliyetli mesafe algoritması kullanılarak biriktirilmiş maliyet ve yön katmanlarının oluşturulmasından sonra, Dijkstra algoritmasının çalışma mantığıyla uyumlu olarak çalışan en düşük maliyetli rota bulucu (Least cost path) algoritması kullanılarak daha önceden tanımlanan başlangıç (kaynak) ve

bitiş (hedef) noktaları arasında en düşük maliyetli güzergâh tespiti gerçekleştirilir. Bu işlem ArcGIS yazılımında yer alan “Cost Path” (maliyetli yol) aracı kullanılarak yürütülmüştür. Çalışma bölgesinde dokuz adet durak (some) noktası mevcut olduğundan, yukarıda bahsedilen maliyetli mesafe ve maliyetli yol algoritmaları sırasıyla bu noktalardan geçmek üzere toplamda on kez çalıştırılmıştır. Elde edilen güzergâh ve bölgeye ait daha önceden planlanan mevcut güzergâh Şekil 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 38 ENH üretilen ve mevcut güzergâh gösterimi

Şekil 3.38’de Dijkstra algoritmasına göre elde edilen güzergâh incelendiğinde, başlangıç noktasından itibaren 5. some yani durak noktasına kadar mevcut planlanan güzergâh tasarımına benzer bir patern sergilediği görülmektedir. Aynı şekilde 6. ve 8. durak noktaları arasında da benzer bir durum söz konusudur. Ayrıca, genel güzergâh hattının Dijkstra algoritmasının çalışma prensibine uygun şekilde geçiş maliyetlerinin az olduğu alanlardan geçtiği görülmektedir. Ancak maliyetli mesafe ve maliyetli yol algoritmaları kullanılarak elde edilen güzergâh hattı boyunca toplamda 188 noktada yüksek kırılma açısıyla dönüşler yapıldığı görülmektedir (Şekil 3.39).



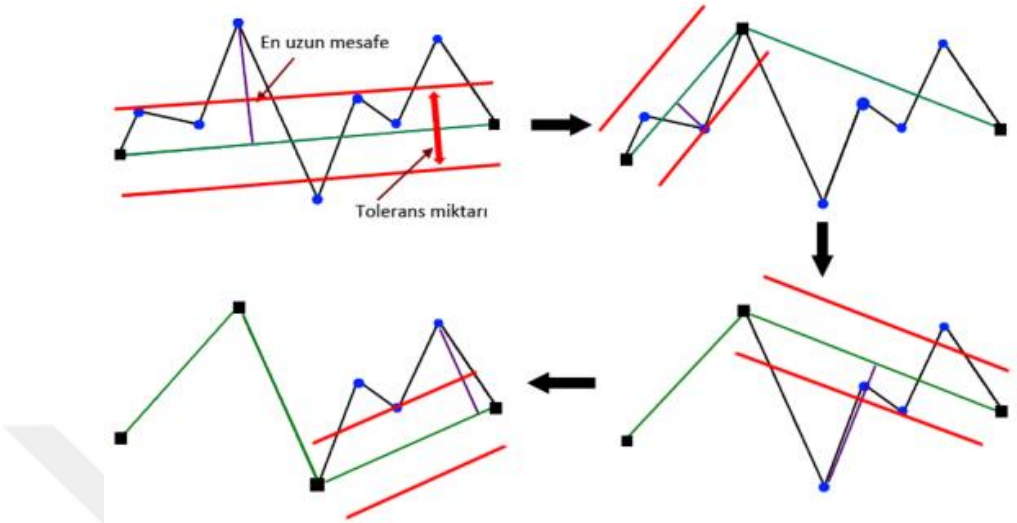
Şekil 3. 39 ENH güzergâhı boyunca hattın kırılma yaptığı örnek alanlar

Şekil üzerinden örnek güzergâhlar incelendiğinde hattın dönüş yaptığı yerlerde yaklaşık 45°'lik açılar oluşturduğu tespit edilmiştir. Genellikle, ENH güzergâhı belirlenirken hattın kırılma açıları mümkün olduğunca küçük tutulmaya çalışılmaktadır. Hattın açı yaptığı yerlerdeki direk tipleri ve izolatör çeşitlerinin değişmesi, oluşturulacak hattın maliyetini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle elde edilen güzergâha kırılma açılarının daha az olacağı ve alternatif teşkil edecek bir hat üretilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.9 ENH tasarımı için alternatif güzergâhın belirlenmesi

ENH güzergâhı boyunca kırılma açılarının yapıldığı yerlerde durdurucu tipi direkler kullanılmaktadır. Bu direklerin sayısal olarak fazla kullanımı hem maliyeti artırmakta hem de sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Üretilen güzergâh hattında, bu tip kırılma açılarının fazla olduğu görülmektedir. Bununla beraber her ne kadar geçiş maliyetinin az tutulması dikkate alınsa da kullanılamaz durumda olduğu görülmektedir. Bu nedenle üretilen bu güzergâha bir basitleştirme işlemi uygulanmıştır. Basitleştirme işleminde, çizgi nesnelerine uygulanan hızlı ve basit bir algoritma olarak Douglas-Peucker algoritması kullanılmıştır (Douglas ve Peucker, 1973). Douglas-Peucker algoritmasının her adımında, ilk noktadan son noktaya bir doğru parçası çizerek bir nokta dizisine yaklaşmaya çalışılır. Bu doğru parçasına en uzak nokta bulunur ve mesafe eşik değerin altındaysa yaklaşım kabul edilir; aksi takdirde algoritma seçilen

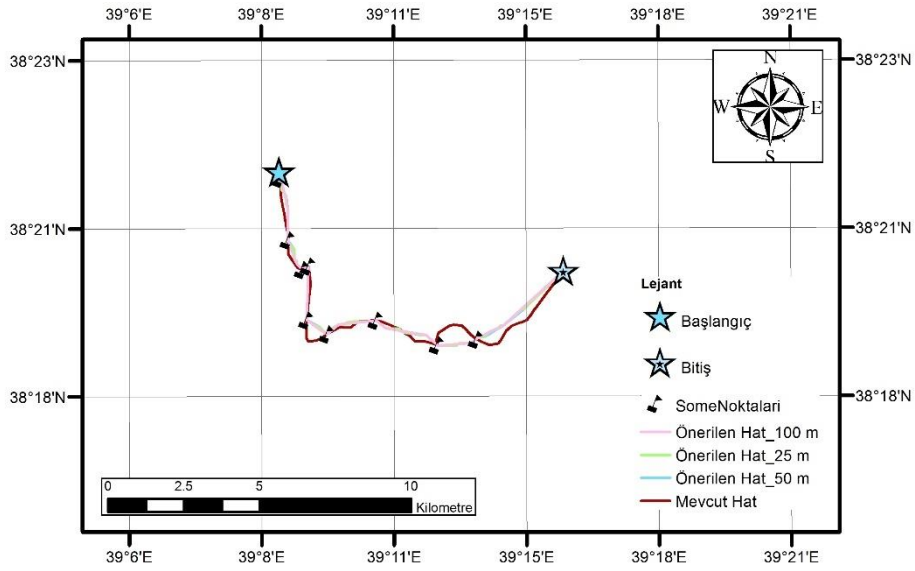
noktadan önceki ve sonraki iki alt diziye özyinelemeli olarak uygulanır (Heckbert ve Garland 1997; Gökgöz ve Selçuk, 2004). Douglas-Peucker algoritmasının çalışma prensibi Şekil 3.40'de gösterilmektedir.



Şekil 3. 40 Douglas-Peucker algoritmasının çalışma prensibi (Şahbaz, 2014)

Şekil üzerindeki değişim incelendiğinde bu algoritma, temel olarak basitleştirilecek çizginin/kenarın üzerindeki tüm noktaları dikkate almaktadır. İlk olarak bir tolerans değeri belirlenmektedir. Daha sonra ilk ve son nokta temel nokta olarak tanımlanmaktadır. İlk ve son noktanın oluşturduğu doğruya en uzak olan nokta seçilir ve bu nokta tolerans dışında ise temel nokta olarak işaretlenir. İlk nokta ile işaretli nokta arasındaki noktaların bu iki nokta arasındaki doğruya olan uzaklıklarına bakılır. Tolerans değeri içinde kalan noktalar elimine edilir. Arada başka nokta kalmamış ise işaretli nokta ile son nokta arasında aynı işlemler tekrarlanmaktadır. İşlemler bittikten sonra ilk ve son nokta dâhil olmak üzere işaretlenmiş noktalar çizgi nesnenin basitleşmiş şeklini oluşturmaktadır (Şahbaz, 2014).

Bu çalışma kapsamında, üretilen güzergâh boyunca tolerans değeri 100 m, 50 m ve 25 m alınarak Douglas-Peucker basitleştirme algoritması kullanılmıştır. Farklı tolerans değerleri kullanılarak en uygun olan güzergâh belirlenmiştir. Uygulanan basitleştirme işlemi sonrasında elde edilen yeni ve alternatif ENH güzergâhları Şekil 3.41'de görülmektedir.



Şekil 3. 41 Douglas-Peucker algoritması ile elde edilen yeni güzergâhlar ve mevcut güzergâh

Şekil 3.41'de yeni güzergâh hatları incelendiğinde, hat boyunca kırılma açılarından arındırıldığı ve tesis edilebilir bir hattın oluşturulduğu görülmektedir. Maliyetli mesafe ve maliyetli yol algoritmaları kullanılarak elde edilen güzergâh hattı boyunca toplamda 188 noktada kırılma açışı oluşurken, Douglas – Peucker algoritması kullanılarak, 25 m tolerans aralığına göre üretilen güzergâh 48 noktada kırılma açısı yapmıştır. Algoritmada 50 m tolerans aralığına göre üretilen güzergâh 27 noktada kırılma açısı yapmıştır. 100 m tolerans aralığına göre üretilen güzergâh ise 18 noktada kırılma açısı yapmıştır.

Üretilen güzergahların, mevcut güzergâh hattının geneli ile benzer bir patern sergilediği ve birçok bölgede mevcut hatta göre daha uyumlu rotalardan (geçiş maliyetinin az olduğu) geçiş sağlandığı söylenebilir. Dağıtım şirketi tarafından tasarlanan mevcut hat 39 noktada kırılma açısı yapmaktadır. Dolayısıyla 25 m tolerans aralığında Douglas – Peucker algoritması yardımıyla belirlenen güzergâh tasarımı kırık nokta sayısı fazla olduğundan elverişsiz olarak değerlendirilmiştir.

4
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Güzergâh hatlarının karşılaştırmalı analizi

Çalışma bölgesinde 3. bölümde aktarılan analizler sonucu elde edilen yeni güzergâhlar ve dağıtım şirketi tarafından klasik yöntemler ile planlanan güzergâh hattı aşağıda belirtilen iki farklı kriter açısından incelenmeye alınmıştır:

- Ağırlıklandırılmış maliyet haritası üzerindeki geçiş maliyet değerlerinin hesaplanması
- ENH güzergâhına etki eden kriterler ile uyumluluk düzeyinin belirlenmesi

Genel olarak, analizler sonucu elde edilen güzergâh hatlarının planlanan güzergâh hattına göre daha kısa elde edildiği söylenebilir. Planlanan güzergâh 16.91 km olarak tasarlanmış olup, maliyetli mesafe ve maliyetli yol algoritmaları kullanılarak elde edilen güzergâh 15.85 km, Douglas – Peucker algoritması kullanılarak sırasıyla, 25 m tolerans aralığına göre üretilen güzergâh 15.55 km, 50 m tolerans aralığına göre üretilen güzergâh 15.38 km, 100 m tolerans aralığına göre üretilen güzergâh 15.28 km uzunluğundadır.

Analizler için en az maliyetli rota bulucu algoritmasının kullanımı aradaki farkın oluşma nedenini göstermektedir. Ancak yeni elde edilen güzergâhın planlanan güzergâh ile deneysel olarak daha kapsamlı karşılaştırılmaları gerekmektedir.

4.1.1 Ağırlıklandırılmış maliyet haritası üzerinden geçiş maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, çalışma bölgesinde dağıtım şirketi tarafından planlanan ENH güzergâhı ile basitleştirme işlemi sonrasında elde edilen yeni güzergâh hatları geçiş maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu noktada ağırlıklandırılmış maliyet haritası altlık olarak kullanılmıştır. İlk olarak bu güzergâh hatları maliyet haritasının hücre boyutu dikkate alınarak raster formata dönüştürülmüştür. Sonrasında raster formatta elde edilen hatların geçiş yaptığı hücreler ile

ağırlıklandırılmış maliyet haritasında yer alan hücreler çakıştırılarak bu güzergâh hatlarının geçiş maliyetleri hesaplanmıştır. Bu işlemler, ArcGIS yazılımında yer alan "Zonal Statistics as Table" aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ENH güzergâhlarına ait tanımlayıcı istatistik bilgiler Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 1 Güzergah hatlarının geçiş maliyetlerine göre tanımlayıcı istatistik bilgileri

	Geçiş Maliyeti (Piksel değeri)				
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Toplam
Planlanan Hat	1.08	2.22	1.51	0.24	3028.00
CD – LCP ile üretilen	1.08	2.10	1.43	0.23	1956.50
Douglas - Peucker 100 m	1.08	2.10	1.45	0.22	2709.62
Douglas - Peucker 50 m	1.08	2.10	1.44	0.23	2645.59
Douglas - Peucker 25 m	1.08	2.10	1.43	0.23	2552.32

Tablo 4.1'deki değerler incelendiğinde, planlanan güzergâh hattı ile üretilmiş hatlar arasında birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Buna rağmen, çalışma kapsamında üretilen yeni güzergâhlara ait değerlerin, planlanan hatta göre daha iyi ve uyumlu olduğu söylenebilir. Özellikle, toplam geçiş maliyet değerleri incelendiğinde, üretilen yeni hatlardan 50 m tolerans aralığında Douglas – Peucker algoritması kullanılarak belirlenen güzergahta maliyeti artıran alanlardan kaçınıldığı, dolayısıyla geçiş maliyet değerinin daha düşük olarak tespit edildiği görülmektedir.

Bu kapsamda klasik yaklaşımlardan ziyade ENH güzergâh tespitine etki eden tüm kriterleri bir arada değerlendiren bir sistemin entegrasyonun daha başarılı olabileceği ortaya konulmaktadır. Ayrıca üretilen hatta uygulanan basitleştirme işleminin ENH güzergâh tespitinde zaman, maliyet ve kalite açısından avantajlar sağladığı Tablo 4.1'deki sonuçlara göre söylenebilir.

4.1.2 ENH güzergâhına etki eden kriterler ile uyumluluk düzeyinin belirlenmesi

Geçiş maliyetleri ile ilgili sonuçlar elde edildikten sonra, ENH güzergâh tespitine etki eden tüm kriterler açısından planlanan hat ile üretilen hat (Douglas - Peucker 50 m) arasındaki uyum düzeyleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Her bir kritere ait raster formattaki sınıflandırılmış haritalar dikkate alınarak planlanan ve yeni hat raster formata dönüştürülüp çakıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Tüm kriterler için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

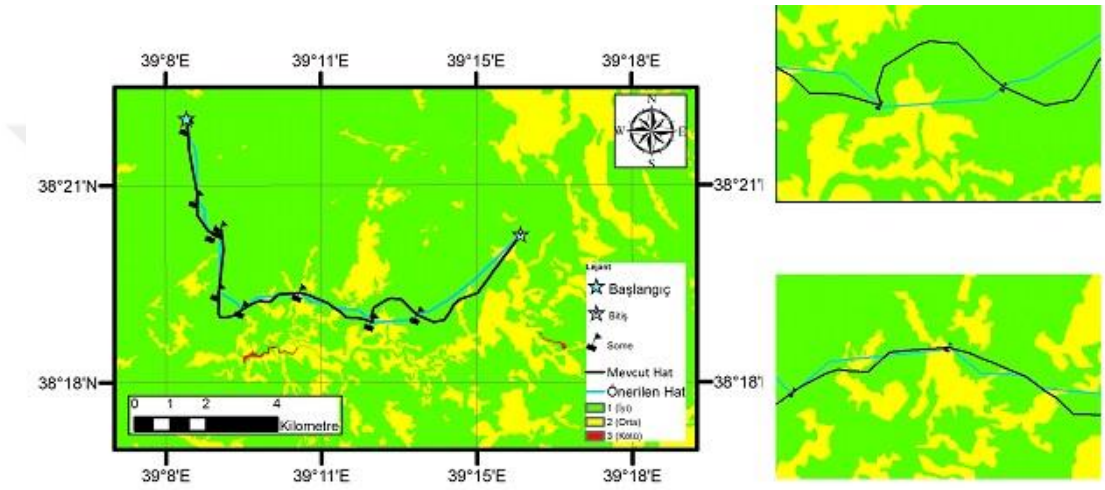
Önceki bölümlerde yer alan yeniden sınıflandırılmış raster haritalar incelediğinde "1" değerine sahip alanların iyi, "2" değerine sahip alanların orta ve "3" değerine sahip alanların kötü alanlar olduğu görülmektedir. Bu kapsamda her bir kritere ait ortalama değerlerde "1" değerine ve standart sapmalarında da "0" değerine yakınlık beklenmektedir. Her iki hatta ait vektör verilerin raster harita üzerinden geçtiği piksel hücre sayısı, planlanan ve yeni hat olmak üzere sırasıyla 2098 ve 1855 değerlerini içermektedir.

Zemin yapısı ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 2 Zemin yapısı kriterine ait istatistik sonuçlar

	Zemin yapısı (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,06	0,25
Önerilen hat	1,10	0,30

Tablo 4.2'deki sonuçlar incelendiğinde, dağıtım şirketi tarafından planlanan hattın yeni önerilen hatta göre zemin yapısı kriteri açısından daha uyumlu sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Bir başka ifadeyle planlanan güzergâh hattında önerilen hatta göre kaçınılan alanların daha fazla olduğu söylenebilir. Kaçınılan alanlarda özellikle güzergâh hattının daha uzun tutulduğu görünmektedir (Şekil 4.1). Bu alanlarda hattın daha fazla uzun tutulması ENH güzergâhlarının maliyet kriterini artıracaktır.



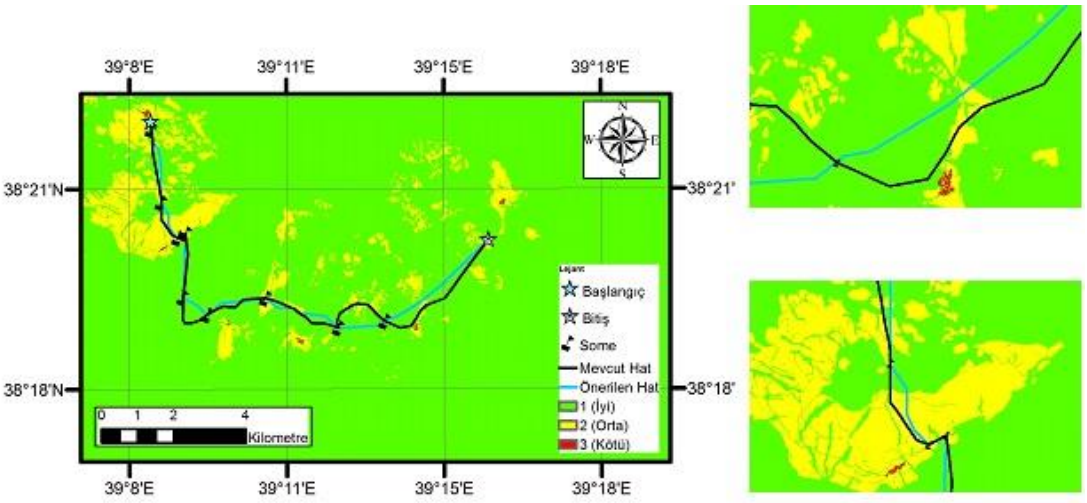
Şekil 4. 1 Zemin yapısı için güzergâhta kaçınılan alanlar

Mülkiyet durumu ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.3'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 3 Mülkiyet durumu kriterine ait istatistik sonuçlar

	Mülkiyet durumu (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,18	0,38
Önerilen hat	1,14	0,35

Tablo 4.3'deki sonuçlar incelendiğinde, üretilen yeni hattın planlanan hatta göre mülkiyet durumu kriteri açısından daha uyumlu sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Bir başka ifadeyle zemin yapısı kriterinde olduğu gibi üretilen yeni hatta daha fazla kaçınılan alan mevcuttur (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2 Mülkiyet durumu için güzergâhta kaçınılan alanlar

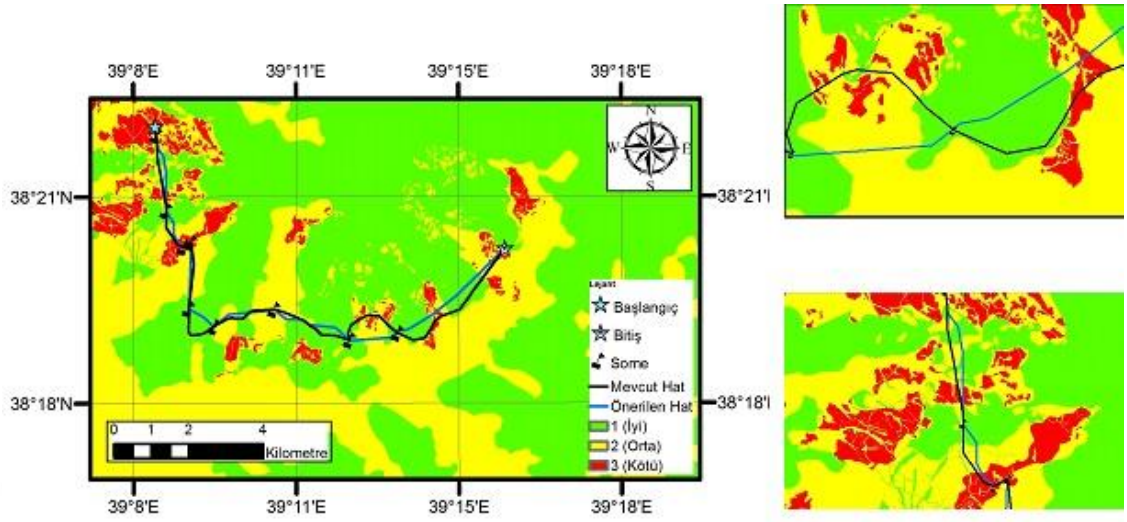
İzin alma kolaylığı ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 4 İzin alma kolaylığı kriterine ait istatistik sonuçlar

	İzin alma kolaylığı (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,58	0,66
Önerilen hat	1,55	0,62

Tablo 4.4'deki değerler incelendiğinde, planlanan hatta göre önerilen hattın izin alma kolaylığı açısından daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Bu durum izin alma kolaylığı kriteri için önerilen hattın kamulaştırma, izin ve irtifak gibi

işlemleri daha kısa sürede yapma imkânı sunan alanlara sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 4.3).



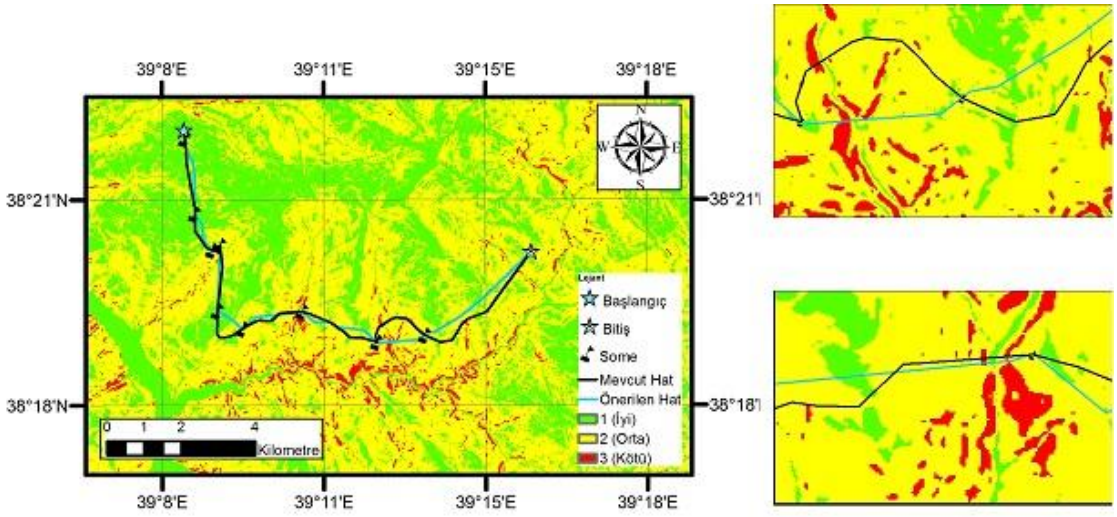
Şekil 4. 3 İzin alma kolaylığı için güzergâhta kaçınılan alanlar

Eğim ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 5 Eğim kriterine ait istatistik sonuçlar

	Eğim (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,69	0,50
Önerilen hat	1,64	0,51

Eğim kriterine ait elde edilen değerlere bakıldığında, birbirine yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Önerilen hatta ait ortalama değerinin "1" e yakınlığı, güzergâh boyunca bazı alanlarda planlanan hatta göre daha çok kaçış alanları olduğunu göstermektedir (Şekil 4.4).



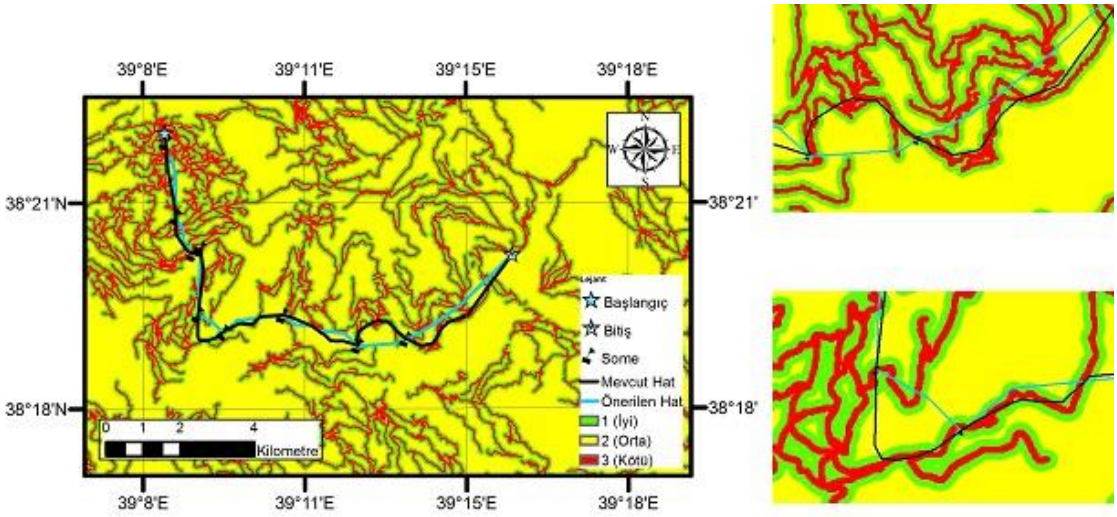
Şekil 4. 4 Eğim için güzergâhta kaçınılan alanlar

Yol kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.6'da gösterilmektedir.

Tablo 4. 6 Yol kriterine ait istatistik sonuçlar

	Yol (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,98	0,83
Önerilen hat	1,75	0,75

Tablo 4.6'daki değerlere bakıldığında, önerilen hatta ait sonuçların planlanan hatta göre daha kabul edilebilir düzeyde elde edildiği görülmektedir. Her iki hat için de ortalama değerlerin "2" değerine yakın olması, güzergâh hatlarının bölgede orta ve kötü düzeye sahip alanlardan daha çok geçtiğini göstermektedir. Bu duruma rağmen iki hattında yol kriteri için kabul edilebilir sınır düzeyinde olduğu söylenebilir. Dağıtım şirketi en kısa güzergahı kullanmak yerine yolu takip etmiştir (Şekil 4.5). Bundan dolayı önerilen hatta ait sonuçlar daha düşük düzeyde çıkmıştır.



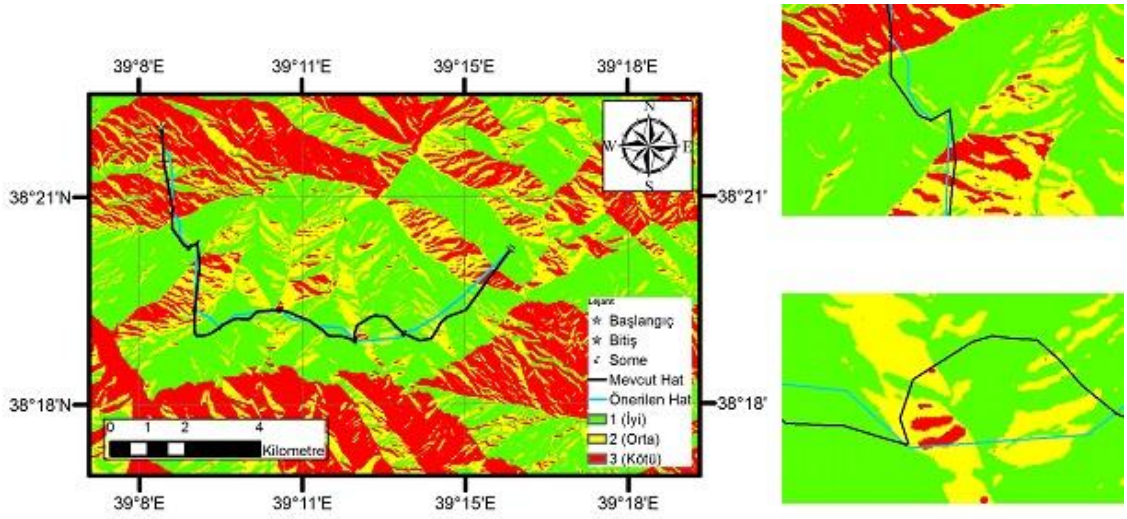
Şekil 4. 5 Yol kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar

Bakı kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 7 Bakı kriterine ait istatistik sonuçlar

	Bakı (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,49	0,71
Önerilen hat	1,53	0,74

Bakı kriterine ait sonuçlar incelendiğinde, dağıtım şirketi tarafından tesis edilen güzergâh hattı ve önerilen hatta ait sonuçlar incelendiğinde birbirine yakın değerler bulunduğu görülmektedir. Buna rağmen planlanan hattın daha uygun alanlardan geçirildiği söylenebilir. Önerilen güzergaha ait sonuçların daha kötü çıkmasının nedeni olarak, en kısa yol mesafe algoritması kullanılarak elde edilen hattın kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı bölgelerini içeren orta düzey alanlardan daha çok geçtiği söylenebilir (Şekil 4.6).



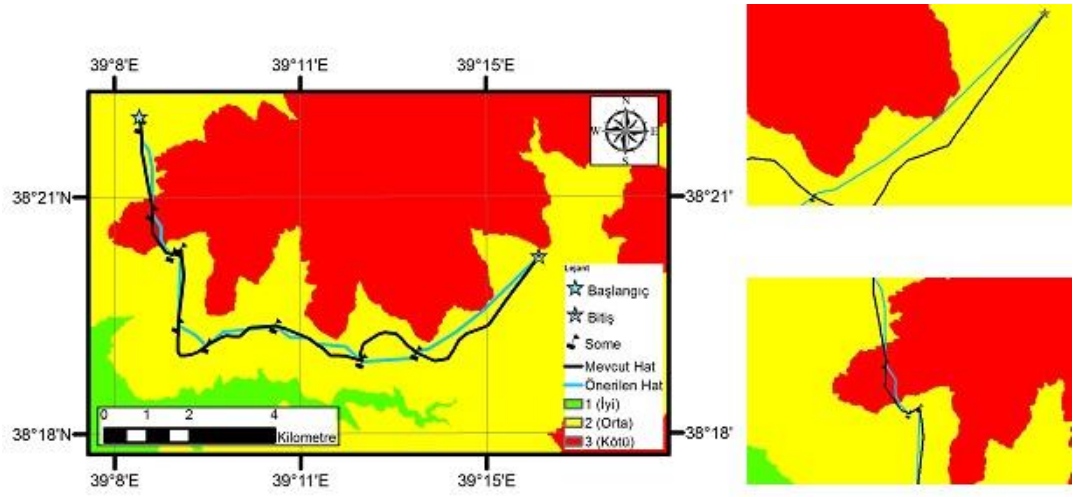
Şekil 4. 6 Bakı kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar

Buz yükü bölgeleri kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 8 Buz yükü kriterine ait istatistik sonuçlar

	Buz yükü (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	2,06	0,25
Önerilen hat	2,08	0,28

Buz yükü bölgelerine ait elde edilen değerler incelendiğinde, planlanan hattın önerilen hatta yakın sonuçlar sunduğu görülmektedir. İki hat içinde tüm güzergâh hattının sadece orta ve kötü düzeye sahip alanlardan geçtiği ve bu nedenle ortalama sonuçlarının "2" değerinin üstünde çıktığı söylenebilir. Yeni üretilen güzergâh hattının bitiş (hedef) noktasına doğru "3" (kötü) düzeyine sahip alanlardan daha çok geçmesi, bu hatta ait sonuçların daha kötü çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7 Buz yükü bölgeleri kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar

Heyelan bölgeleri kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

Tablo 4. 9 Heyelan kriterine ait istatistik sonuçlar

	Heyelan (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,00	0,00
Önerilen hat	1,00	0,00

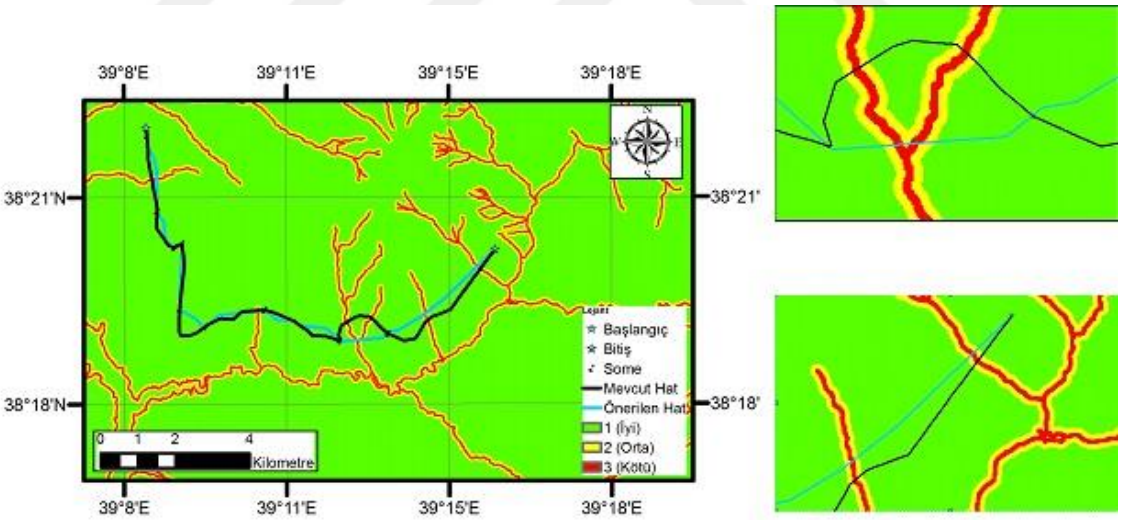
Heyelan bölgelerine ait güzergâh hatlarından elde edilen sonuçlara göre, her iki hat için de başlangıç (kaynak) ve bitiş (hedef) noktaları da dâhil olmak üzere tüm güzergâh iyi düzey olarak adlandırılan "1" değerine sahip alanlardan geçmektedir. Bu nedenle, her iki hat içinde heyelan bölgelerinden kaçınıldığı söylenebilir (Şekil 3.26).

Geniş vadi atlaması kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.10'da gösterilmektedir.

Tablo 4. 10 Geniş vadi atlaması kriterine ait istatistik sonuçlar

	Geniş vadi atlaması (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,10	0,37
Önerilen hat	1,09	0,37

Geniş vadi atlamalarına ait kriter sonuçları incelendiğinde, her iki hattında çalışma bölgesi boyunca benzer alanlardan geçtiği ve bu nedenle sonuçların benzer çıktığı söylenebilir (Şekil 4.8). Ortalama değerin planlanan hatta göre önerilen hatta daha düşük çıkmasının nedeninin önerilen hattın daha az vadi atlaması yapması olduğu söylenebilir.



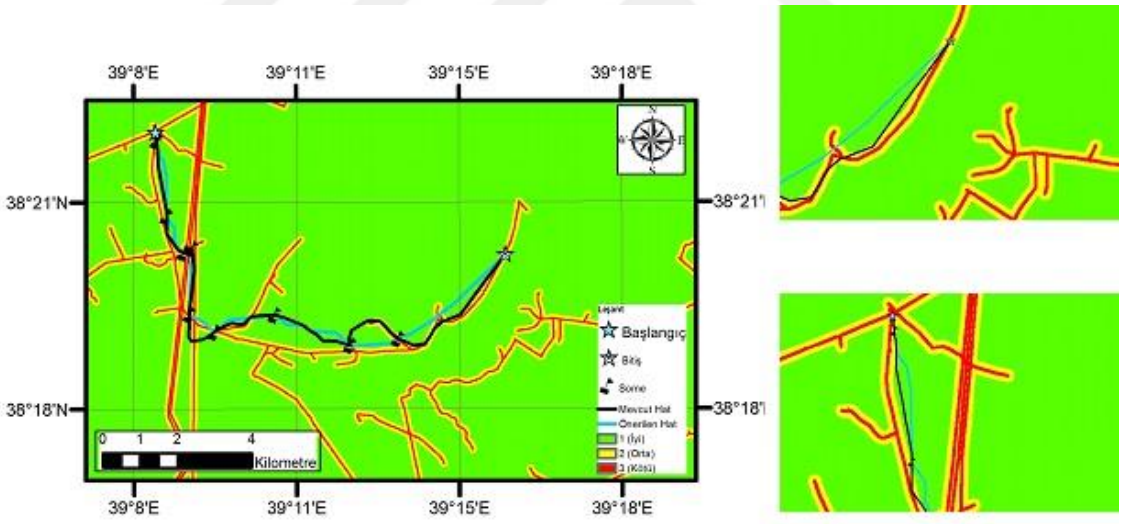
Şekil 4. 8 Geniş vadi atlaması kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar

Altyapı-Üstyapı kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.11'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 11 Altyapı-Üstyapı kriterine ait istatistik sonuçlar

	Altyapı-Üstyapı (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,65	0,71
Önerilen hat	1,31	0,59

Altyapı-Üstyapı kriterine ait değerlere bakıldığında, önerilen hattın planlanan hatta göre daha iyi sonuçlar ürettiği söylenebilir. Özellikle önerilen hat için bu sonuçların elde edilmesinde, çalışma bölgesinde mevcut olan ENH hatlarından daha uzak güzergahların tercih edilmesi büyük bir etken olmaktadır (Şekil 4.9).



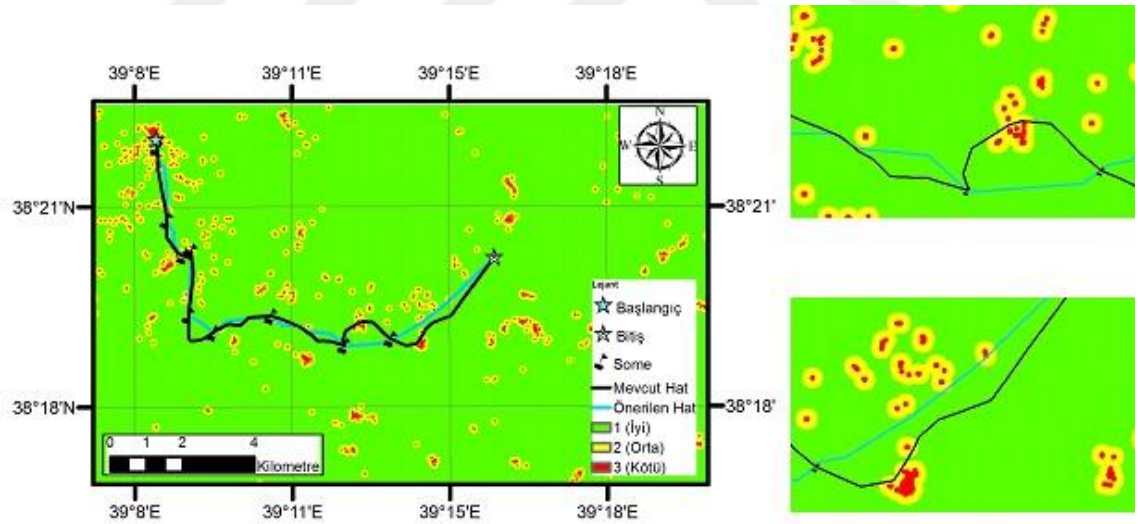
Şekil 4. 9 Altyapı-Üstyapı kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar

Sosyal çevre kriteri ile ilgili olarak planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçları Tablo 4.12'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 12 Sosyal çevre kriterine ait istatistik sonuçlar

	Sosyal çevre (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,17	0,38
Önerilen hat	1,14	0,37

Tablo 4.12'deki değerler incelendiğinde, her iki hat içinde önerilen hatta ait sonuçların planlanan hatta göre daha iyi çıktığı söylenebilir. Önerilen güzergâh hattı, her ne kadar en kısa mesafe mantığı ile üretilmiş olsa da sosyal çevre kriteri açısından planlanan güzergâha göre daha kabul edilebilir sonuçlar elde edilecek alanlardan geçtiği görülmektedir (Şekil 4.10).



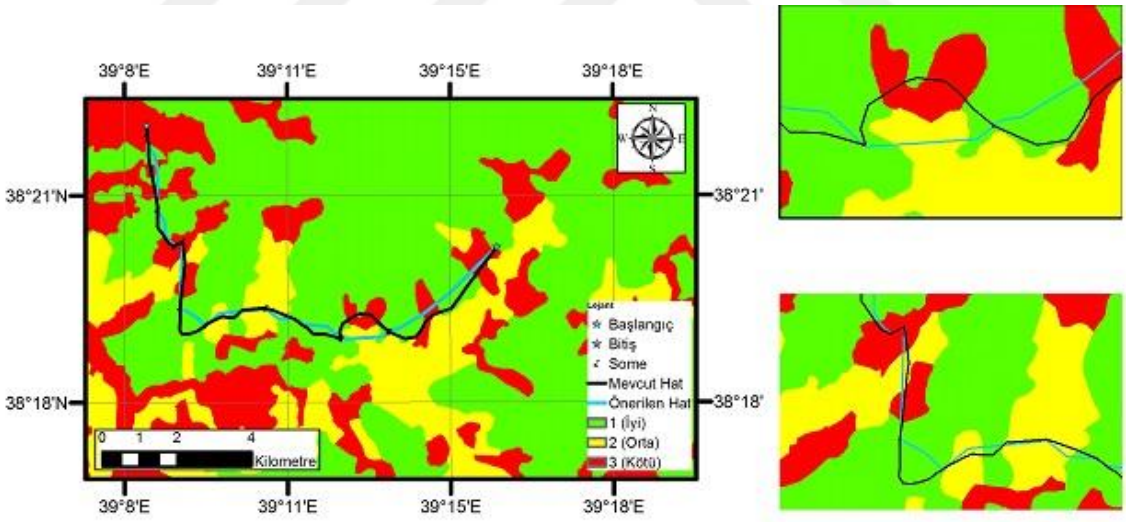
Şekil 4. 10 Sosyal çevre kriterine ait her iki güzergâh hattının örnek geçiş alanları

Son olarak arazi kullanım kriteri ile ilgili planlanan ve önerilen güzergâh hattına ait istatistik sonuçlar Tablo 4.13'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 13 Arazi kullanım kriterine ait istatistik sonuçlar

	Arazi kullanım (yeniden sınıflandırma) değerleri	
	Ortalama	Standart sapma
Planlanan hat	1,70	0,88
Önerilen hat	1,67	0,84

Arazi kullanım türlerine göre elde edilen değerler incelendiğinde, yeni üretilen hattın planlanan hatta göre daha fazla kaçış alanlarından geçtiği görülmektedir. Her ne kadar daha fazla kaçış alanları kullanılmış olsa da bu alanların çoğunluğunu orta düzey alanlarının oluşturması sonuçların birbirine yakın çıkmasına neden olmuştur (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11 Arazi kullanım kriteri için güzergâhta kaçınılan alanlar

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, fosil yakıtlar ile birlikte her geçen gün sayıları hızla artan YES'lerde farklı kaynaklar kullanarak üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara ulaştırılma süreçlerinden bahsedilmiştir. Elektrik enerjisinin taşınması ENH kullanılarak gerçekleştirilir.

Günümüz teknolojik gelişmeleri ile doğrudan ilişkili bir şekilde elektrik enerjine duyulan ihtiyaç her geçen gün hızla artmaktadır. Yerleşim yerlerinin düzensiz dağılımı ve üretim kaynaklarının çeşitliliği yeni tesis edilecek ENH'lara ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır.

ENH tesis edilirken tesis sürecinden çevresel etkisine, işletme faaliyetlerinden enerjinin kullanım alanlarına varana kadar birbirinden farklı tüm kriterler değerlendirilerek bir AHP yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan AHP yapısı içerisinde değerlendirilen kriterler uzman görüşleri alınarak Tablo 3.4'de görüldüğü gibi ağırlıklandırılmıştır.

Arazi topografyası, arazi kullanım alanları, mülkiyet durumu, zemin yapısı gibi ayrı on iki raster veri elde edilen ağırlıklar kullanılarak bir CBS yazılımı olan ArcGIS yazılımı yardımıyla tek bir raster haline dönüştürülerek maliyet yüzeyi oluşturulmuştur. Ağırlıklandırılmış raster yine ArcGIS üzerinden "Cost Distance" uygulanarak en uygun güzergâh tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen güzergahtaki kırık nokta sayısını azaltmak için literatürdeki benzer çalışmalarda örneğini görmediğimiz Douglas – Peucker algoritması yardımıyla kısa sürede ve en az maliyetli yol algoritması yardımıyla tespit ettiğimiz hatta uyum gösteren uygulanabilir güzergâh elde ettik.

Sektör uygulamasında belirlenen güzergâhtan daha kısa, daha az kırık noktaya sahip ve yine sektörde yer alan uzmanların görüşleri doğrultusunda belirlenen kriterlere daha uyumlu bir güzergâh elde edilmiştir.

5.1 Sonuç

Çalışmada elde edilen güzergâhın artıları;

- ✓ Çalışma alanında incelenmesi gereken kriterlerin öznel olarak değerlendirilmesinden ziyade uzman görüşlerine dayanarak nesnel olarak ele alınması bireysel yorumlama hatalarının önüne geçecektir,
- ✓ AHP yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları farklı çalışma bölgelerine uygun olarak güncellenerek kullanılabilir,
- ✓ Topografik detayları içeren haritalar ve bunlara ek olarak elde edilen bölgeye uygun veri setleri ile güzergâh tespit işlemleri safhasında saha işlemleri azalır,
- ✓ Dağıtım şirketi tarafından uygulanan güzergâhtan, 1.5 km daha kısa bir güzergâh elde edilerek daha az maliyetli hatlar yapılabileceği görülmüştür,
- ✓ Dağıtım şirketi tarafından uygulanan güzergahtan, 12 adet daha az kırık nokta içeren bir güzergâh tespit edilmesi kullanılacak durdurucu direk sayısını azaltarak maliyeti düşürür,
- ✓ Yine daha az durdurucu direk kullanılması hatta meydana gelebilecek arıza durumlarını azaltacağı için daha sürdürülebilir,
- ✓ Riskli zemin yapısı, izin alma kolaylığı ve sosyal çevre etkisi kriterlerine dikkat edilen güzergâh tesis zamanı ve kalitesi bakımından kurumlar ve sivil toplum kuruluşları tarafından kabul edilebilir.

Belirlenen güzergâhın olumsuz yönleri;

- ✓ Dağıtım şirketinin belirlediği güzergâhtan farklı olarak yolu takip etmek yerine dere, vadi geçişleri yapması ve daha yüksek rakımlı kotlardan geçiş yapması işletme faaliyetlerini olumsuz etkileyebilir.

5.2 Öneriler

Çalışmada belirlenen güzergâha uygun direkler kullanılarak maliyet bakımından kontrol edilebilir.

Güzergâhta meydana gelen kısa mesafelerdeki kırık noktaları genelleştirmek için kullanılan Douglas – Peucker algoritması tolerans değerleri değiştirilerek farklı çalışmalar için test edilebilir.

Güzergâhı kısaltmak üzere yolu takip etmek yerine dere, vadi geçişleri ve daha yüksek rakımlı kotlardan geçiş işlemleri analiz edilerek işletme faaliyetleri bakımından uygunluğu analiz edilebilir.

Kullanılan veri seti daha fazla detay içeren haritalar elde edilerek yeniden değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Al-Harbi, K. M. A. S. (2001). Application of the AHP in project management. *International journal of project management*, *19*(1), 19-27.

Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International journal of project management*, *17*(6), 337-342.

BAŞLAK, A. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Tekniği Kullanarak Enerji Nakil Hattı (ENH) Güzergâh Seçimi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KONYA.

Baysal, M. E., Aydın, M., & Sarucan, A. (2015). KARMA BİR KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE ELEKTRİK İLETİM HATTI İÇİN GÜZERGÂH SEÇİMİ. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(2), 39-51.

BP Stats (2021). Statistical Review of World Energy, https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf :[Erişim Tarihi: 02.03.2022].

Buffet, P., Gremy, J. P., Marc, M., & Sussmann, B. (1967). Peut-on choisir en tenant compte de critères multiples? Une méthode (ELECTRE) et trois applications. *Revue Metra*, *6*(2), 283-316.

Curtin KM. 2007. Network analysis in geographic information science: review, assessment, and projections. Cartogr Geog Inf Sci. 34:103–111.

de Lima, R. M., Osis, R., de Queiroz, A. R., & Santos, A. H. M. (2016). Least-cost path analysis and multi-criteria assessment for routing electricity transmission lines. IET Generation, Transmission & Distribution, 10(16), 4222-4230.

DEMİRCAN, S. (2009). Çoklu Etmenler Kullanılarak Enerji Nakil Hattı Güzergâh Optimizasyonu. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KONYA.

Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numerische mathematik, 1(1), 269-271.

Douglas, D. H., & Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. Cartographica: the international journal for geographic information and geovisualization, 10(2), 112-122.

Eroğlu, H. (2014). Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak gerçekleştirilecek olan bilgisayar destekli bir modelle elektrik enerji nakil hatlarının güzergah optimizasyonu (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

EROĞLU, H., & AYDIN, M. (2015). Enerji Nakil Hatlari Güzergâh Tespiti ve Proje Çiziminin Otomasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(4).

EROĞLU, H., & Aydin, M. (2015). Optimization of electrical power transmission lines"routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 23(5), 1418-1430.

Eroğlu, H., & Aydin, M. (2018). Solving power transmission line routing problem using improved genetic and artificial bee colony algorithms. Electrical Engineering, 100(3), 2103-2116.

Fishburn, P. C. (1967). Methods of estimating additive utilities. Management science, 13(7), 435-453.

Gökgöz, T., & Selçuk, M. (2004). A new approach for the simplification of contours. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 39(4), 37-44.

Gülgen, F. (2017). A stream ordering approach based on network analysis operations. Geocarto International, 32(3), 322-333.

Heckbert, P.S., and M. Garland. 1997. "Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms." Technical Report No. CMUCS-95-194, Carnegie Mellon University.

Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. Scientific american, 267(1), 66-73.

Houston, G., & Johnson, C. (2006). EPRI-GTC overhead electric transmission line siting methodology. Georgia, CA: Georgia Transmission Corporation.

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.

Ijab, M. T., Anwar, R., & Hamid, S. (2004). Teaching and learning of e-commerce courses via hybrid e-learning model in Unitar. *Journal of Electronic Commerce in Organizations (JECO)*, *2*(2), 78-94.

Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 23(3), 665-685.

Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200, pp. 1-10). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.

Kaynaklara Göre Günlük Lisanssız Dâhil Üretim Miktarı (2022). Erişim adresi: https://www.teias.gov.tr/ [Ziyaret Tarihi: 24.05.2022].

Khan, I. A., Naik, K., Ahmed, M., & Al-Tekreeti, M. (2019, October). Ranking of routes for electrical transmission lines using GIS and image processing techniques. In 2019 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC) (pp. 1-8). IEEE.

Khan, I. A., Naik, K., Ahmed, M., & Al-tekreeti, M. (2020, August). Ranking of Routes for Electrical Transmission Lines Using GIS and Fuzzy Logic. In 2020 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM) (pp. 1-5). IEEE.

Kishore, T. S., & Singal, S. K. (2014). Optimal economic planning of power transmission lines A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 949-974.

Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D., & Avcı, E. D. (2005). Türkiye'de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 19-21.

Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications–a review of the literature from 2000 to 2014. Economic research-Ekonomska istraživanja, 28(1), 516-571.

Monteiro, C., Ramírez-Rosado, I. J., Miranda, V., Zorzano-Santamaría, P. J., García-Garrido, E., & Fernández-Jiménez, L. A. (2005). GIS spatial analysis applied to electric line routing optimization. IEEE transactions on Power Delivery, 20(2), 934-942.

O'Hagan, M. (1988, October). Aggregating template or rule antecedents in real-time expert systems with fuzzy set logic. In *Twenty-second asilomar conference on signals, systems and computers* (Vol. 2, pp. 681-689). IEEE.

Öztürk, H. A. S. A. N. (2021). Yenilenebilir enerji kaynakları.

Pun-Cheng LSC, Tang MYF, Cheung IKL. 2007. Exact cell decomposition on base map features for optimal path finding. Int J Geog Inf Sci. 21:175–185.

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process McGraw-Hill. New York, 324.

Saaty, T. L. (2005). Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks. RWS publications.

Santos, A. H. M., de Lima, R. M., Pereira, C. R. S., Osis, R., Medeiros, G. O. S., de Queiroz, A. R., ... & Junior, E. L. C. (2019). Optimizing routing and tower spotting of electricity transmission lines: An integration of geographical data and engineering aspects into decision-making. Electric Power Systems Research, 176, 105953.

Sayılarla EÜAŞ (2022). Erişim adresi: https://www.euas.gov.tr/ [Ziyaret Tarihi: 24.05.2022].

Selen, O., Kılıç, B., & Gülgen, F. (2022). Enerji Nakil Hat Güzergâhlarının Belirlenmesinde Karar Destek Sistemlerinin Rolü. 11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu,37-41, 12-14 Mayıs 2022, Mersin, Türkiye.

Sniedovich M. (2006). Dijkstra's algorithm revisited: the dynamic programming connexion. J Control Cybern. 35:599–620.

Stewart, T. J. (1992). A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice. *Omega*, *20*(5-6), 569-586.

Stone, P., & Veloso, M. (2000). Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective. Autonomous Robots, 8(3), 345-383.

Şahbaz, K. (2014). Orta ölçekli topografik haritalarda binaların bağlamsal genelleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TBMM, (2013). 30.03.2013 tarih ve 28603 sayılı resmi gazete. Erişim adresi : https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6446&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 [Ziyaret Tarihi: 01.06.2022].

TEDAŞ, (2022), YG Dağıtım Hatları ve Dağıtım Merkezleri Etüd ve Aplikasyon Teknik Şartnamesi, Yatırımlar İzleme Daire Başkanlığı Erişim adresi: https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_sartnameler_proje [Ziyaret Tarihi: 24.05.2022].

Tomlin, C. D. (1990). Geographic information systems and cartographic modelling (No. 910.011 T659g). New Jersey, US: Prentice-Hall.

TÜİK, (2021). Nüfus ve Demografi Erişim adresi: data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109 [Ziyaret Tarihi: 27.05.2022].

Türkiye'de Elektrik İletimi (2022). Erişim adresi: https://www.teias.gov.tr/sayilarla-elektrik-iletimi [Ziyaret Tarihi: 24.05.2022].

URL-1. CORINE Arazi örtüsü (2022). Erişim adresi: https://www.resmiistatistik.gov.tr/detail/subject/corine-arazi-ortusu/ [Ziyaret Tarihi: 24.05.2022].

URL-2. Copernicus Global Land Service (2022) Erişim adresi: https://land.copernicus.eu/global/products/lc [Ziyaret Tarihi: 24.05.2022].

Veronesi, F., Schito, J., Grassi, S., & Raubal, M. (2017). Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. Applied Geography, 83, 78-85.

Wang, H., Yu, Y., & Yuan, Q. (2011, July). Application of Dijkstra algorithm in robot path-planning. In 2011 second international conference on mechanic automation and control engineering (pp. 1067-1069). IEEE.

Yıldırım, V. (2009). Doğalgaz iletim hatlarının belirlenmesi için coğrafi bilgi sistemleri ile raster tabanlı dinamik bir modelin geliştirilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Zipf, M., Kumar, S., Scharf, H., Zöphel, C., Dierstein, C., & Möst, D. (2019). Multi-criteria high voltage power line routing—an open source GIS-based approach. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(8), 316.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Selen O, Kılıç B & Gülgen F (2022). Enerji Nakil Hat Güzergâhlarının Belirlenmesinde Karar Destek Sistemlerinin Rolü. *11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu*, 12-14 Mayıs 2022, Mersin, Türkiye.