

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HAVA LİDAR VERİLERİ İLE ENERJİ NAKİL HATLARININ
YER SEÇİMİNDE JEOMORFOLOJİK HARİTALAMA TABANLI
BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdüssamet YILMAZ

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Jeodinamik Programı

EYLÜL 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HAVA LİDAR VERİLERİ İLE ENERJİ NAKİL HATLARININ
YER SEÇİMİNDE JEOMORFOLOJİK HARİTALAMA TABANLI
BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Abdüssamet YILMAZ
(602191001)**

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Jeodinamik Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tolga GÖRÜM

EYLÜL 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 602191001 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Abdüssamet YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HAVA LİDAR VERİLERİ İLE ENERJİ NAKİL HATLARININ YER SEÇİMİNDE JEOMORFOLOJİK HARİTALAMA TABANLI BİR YAKLAŞIM” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Tolga GÖRÜM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cengiz YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cihan BAYRAKDAR
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27.08.2021
Savunma Tarihi : 02.09.2021





Kardeşlerime,



ÖNSÖZ

Heyelanlar, yer şekillerinin oluşum ve gelişim evrimi içerisinde yamaç süreçleri olarak dinamik bir etkiye sahiptirler. Bu kapsamda zamansal boyutta frekans ve şiddet bileşenlerine bağlı olarak doğal ve beşerî ortamı etkilerler. Özellikle yanlış arazi kullanımı beşerî faktörler üzerindeki etkilerini artırmaktadır. Özellikle artan nüfus, sanayileşme ve şehirleşmeye bağlı olarak arazi kullanım sınıfları çeşitlenmekte bu bağlamda yamaç süreçlerinin de etki faktörü artış göstermektedir.

Çalışma kapsamında sürekli artış gösteren beşerî faaliyetlerin bir parçası olan Enerji yatırımları kapsamına giren Enerji Nakil Hatlarının güzergâhlarında gelişen heyelanların envanterlerinin hazırlanması ve tehlike modelleri oluşturularak bu anlamda beşerî faaliyete etki faktörünün azaltılması amaçlanmıştır. Bir jeomorfolog olarak, yüzey süreçlerine bağlı gelişen jeomorfolojik olayların tanımlanması, haritalanması ve tehlike modellerinin oluşturulması ve buna bağlı etki katsayısının azaltılması çalışmanın ana amacını oluşturur.

Bu çalışmada LiDAR, uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri ve istatistiksel analiz programlarının etkin bir şekilde kullanıldığı 2 yıllık bir araştırmanın sonucunda tamamlanmıştır.

Tez çalışmasında ve lisans eğitimimin başından bugüne her türlü sorum ve sorununda, desteğini esirgemeyen, tavsiye ve yorumlarıyla bilimsel bakış açımı geliştirmeme büyük katkı sağlayan, değerli hocam Doç. Dr. Tolga GÖRÜM' e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mesleğimi tercih etmemde ve bilimsel bakış açımı şekillendirmemde şahsıma olan büyük katkılarından ötürü Prof. Dr. Ali Mehmet Celal ŞENGÖR' e çok teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin CİHANGİR, Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ ve Öğr. Gör. Seçkin FİDAN' a teşekkür ederim.

Tez çalışmasına katkılarından ötürü tez jüri üyeleri Prof. Dr. Cengiz YILDIRIM ve Doç. Dr. Cihan BAYRAKDAR' a teşekkür ederim.

Veri temini ve tez yazım sürecinde bana sağladıkları rahat çalışma ortamı nedeniyle tüm ELTEMTEK A.Ş. ailesine, özelde ise Emre KILCI ve Ertuğrul ÖZMEN' e teşekkür ederim.

Tezim süresince ve tüm eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2021

Abdüssamet Yılmaz
Jeomorfolog



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA ALANI	5
3. VERİ VE YÖNTEM	7
3.1 LiDAR Verilerinin İşlenmesi ve Sayısal Yükselti Modellerinin Oluşturulması	7
3.2 Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritaları (RRIM) ve Heyelan Tanımlama	10
3.3 Heyelan Kayma Derinliği	13
3.4 Güvenli Yanaşma Sınırı	15
3.5 Jeomorfolojik Görelî Tehlike Değerlendirmesi	15
3.5.1 Aktivite durumunun tanımlanması	15
3.5.1.1 Topoğrafik engebelilik indeksi	16
3.5.1.2 Heyelan aynasının ortalama eğimi	16
3.5.1.3 Kanal yoğunluğu	16
3.5.2 Hacim ve hız	16
3.5.3 Analitik Hiyerarşî Süreci (AHP) ve Modifiye Analitik Hiyerarşî Süreci (M-AHP) yöntemi ile aktivite ve jeomorfolojik görelî tehlike durumlarının belirlenmesi	17
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1 Koridor Haritalama	23
4.2 Heyelan Envanteri	24
4.3 Güvenli Yanaşma Zonu	27
4.4 Aktivite Durumu ve Jeomorfolojik Görelî Tehlike Değerlendirmesi	29
5. SONUÇLAR	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	43



KISALTMALAR

AHP	: Analytical Hierarchy Process
GIS	: Geographic Information Systems
GPS	: Global Positioning System
İng.	: İngilizce
IMU	: Inertial Measurement Unit
LiDAR	: Light Detection and Ranging
M-AHP	: Modified Analytic Hierarchy Process
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RRIM	: Red Relief Image Map
SAGA	: System for Automated Geoscientific Analyses
SYM	: Sayısal Yükselti Modeli
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı
TRI	: Topographic Roughness Index
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
Vd.	: Ve diğerleri



SEMBOLLER

O_p, O_n	: Topoğrafi açıklık değerleri
I	: Topoğrafik açıklık değerleri oranı
t	: Heyelan Kayma Derinliği
z	: Heyelan Aynası Yüksekliği
a	: Eğim Değeri
z_c	: Merkezdeki pikselin yükselti değeri
z_i	: Komşu pikselin yükselti değeri
L_v	: Heyelan hacmi
L_D	: Kayma derinliği
L_A	: Heyelan alanı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Heyelan tiplerine göre, heyelan yoğunluk matrisi (Cardinali vd., 2002'den uyarlanmıştır).....	17
Çizelge 3.2 : Görelî tehlike ve aktivite durumu parametre sınıfları ve puanları.	20
Çizelge 4.1: Heyelan tiplerine göre hız ve hacim bilgileri (Cardinali vd, 2002'den uyarlanmıştır).....	32





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çalışma alanına ait Lokasyon (A), Yükseklik (B) ve Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritası (C).	6
Şekil 3.1 : Çalışma kapsamında izlenen işlem adımları. İşlem adımlarının sayısal değerleri öncelik sırasına göre belirlenmiştir.....	8
Şekil 3.2 : LiDAR nokta bulutu sınıflandırma aşamaları (Görüm, 2019'dan uyarlanmıştır).....	10
Şekil 3.3 : Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritalarının (RRIM) üretilmesinde (A), heyelanların tanımlanması ve haritalanmasında (B) takip edilen işlem adımları.	12
Şekil 3.4 : Heyelan aynası yüksekliği (A) ve deformasyon gelişmemiş ortalama yamaç eğimi (B). Heyelan kayma derinliğinin hesaplanması işleminin blok diyagram ve profil gösterimi (C).	14
Şekil 3.5 : İletim hattı direklerinin heyelana maksimum yaklaşabilecekleri alan sınırlarının (Güvenli yanaşma zonları) hesaplanması işlemine ait kesit ve blok diyagram gösterimi.	15
Şekil 3.6 : AHP yönteminin birinci aşamasındaki, problemin tanımlanması adımından sonraki hesaplama işlemleri. Harfler ve numaralar sıralamada işlem önceliğini yansıtmaktadır.....	19
Şekil 3.7 : M-AHP yöntemi ile aktivite durumu değerlendirilmesinde uygulanan işlem adımları. Harfler ve numaralar sıralamada işlem önceliğini yansıtmaktadır.....	22
Şekil 4.1 : Koridor haritalarında devamlılığı gözlemlenemeyen muhtemel heyelan birikim (A) ve kaynak (B) alanları.	23
Şekil 4.2 : Çalışma alanının LiDAR tabanlı heyelan envanteri. Haritalanan heyelanların (A) tip (B) ve derinlik (C) bilgileri. Heyelanların tipine göre sayı yüzdesi halka grafiği şeklinde gösterilmiştir, buradaki renkler heyelan tip bilgisindeki renklerle aynıdır (B).....	26
Şekil 4.3 : Güvenli yanaşma zonları ve heyelanlardan etkilenebilecek direkler (A-B).	28
Şekil 4.4 : Heyelan aktivite durum hesaplamasında kullanılan parametreler. Kanal yoğunluğu (A), topoğrafik engebelilik (B) ve heyelan aynasının ortalama eğim değerlerinin (C) düşük, orta ve yüksek gruplarının renkleri karşılaştırılma yapılabilmesi için aynı verilmiştir.	30
Şekil 4.5 : Heyelan tip ve derinliklerine göre kanal yoğunluğu (A), heyelan aynasının ortalama eğimi (B) ve topoğrafik engebelilik (C) parametrelerinin ortalama değerlerinin dağılımı.....	31
Şekil 4.6 : Heyelan jeorfolojik tehlike değerlendirmesinin hesaplamasında kullanılan parametreler. Aktivite durumu (A), hacim (B) ve hız (C) parametrelerinin düşük, orta ve yüksek gruplarının renkleri karşılaştırılma yapılabilmesi için aynı verilmiştir.....	33

Şekil 4.7 : Güvenli yanaşma zonları ve jeomorfolojik görelî tehlike sınıflaması sonucu revize edilen hat güzergahı ve direk lokasyonları. **35**



HAVA LİDAR VERİLERİ İLE ENERJİ NAKİL HATLARININ YER SEÇİMİNDE JEOMORFOLOJİK HARİTALAMA TABANLI BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Sürdürülebilir kalkınmanın ve sanayileşmenin en önemli koşullarından biri kesintisiz enerji iletimidir. Enerji nakil hatlarından biri olan Yüksek Gerilim Hatları, elektrik üretim tesisleriyle dağıtım tesisleri arasında yüksek voltajlı elektriğin iletilmesini sağlayan nakil hatlarıdır. Birçok enerji nakil koridorunda olduğu gibi Yüksek Gerilim Hatlarının planlama ve yer seçimlerinde yüzey süreçleri ve özellikle bu hatlar için tehlike teşkil eden kütle hareketleri elektrik iletiminin sürekliliği bakımından önemlidir.

İletim hatlarındaki taşıyıcı direklerin ortalama direk temel derinlikleri 4 metredir. Bu zonlu etkileyen ve taşıyıcı direk temellerinde veya gövdelerinde oluşturdukları deformasyonlara bağlı hattın güvenliğini tehdit etmesi açısından, hat güzergahlarındaki heyelanların tanımlanması ve öznitelik bilgilerini içeren envanterlerin oluşturulması enerji iletiminin sürdürülebilirliği açısından yüksek öneme sahiptir. Söz konusu elektrik iletim hatlarının planlanmasında heyelanlara bağlı jeomorfolojik tehlike değerlendirmeleri sezgisel yaklaşım (uzman deneyimine bağlı), saha gözlem raporları ve orta ölçekli heyelan katalogları kullanılarak yapılmaktadır. Ancak lokal ölçekte mühendislik yapılarının planlamasında hassasiyet, doğruluk ve süre açısından bu altlıklar mevcut heyelan tehlikesinin bilinmesi ve buna bağlı önlem alınması konusunda yetersiz kalmaktadır. Hat güzergahlarında özellikle engebeli ve bitki örtüsü ile kaplı alanlardaki heyelan varlığı ve buna bağlı gelişebilecek yamaç süreçleri kaynaklı problemler büyük ölçüde planlama dışında kalmaktadır. Hat güzergahlarındaki engebeli ve yoğun bitki örtüsüyle kaplı alanlarda heyelanların tanımlanması ve envanterlerinin oluşturulmasında özellikle de optik görüntülerden yapılan yorumlamalar da vejetasyona bağlı kısıtlamaları ortadan kaldırması açısından Light Detection and Ranging (LiDAR) Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında LiDAR verilerinden 1 m çözünürlüğe sahip Sayısal Yükselti Modelleri (SYM) üretilmiştir. SYM türevleri kullanılarak 12 km uzunluğunda ve yaklaşık 500 m genişliğinde koridor halinde heyelan envanterleri oluşturulan Yüksek Gerilim Hattı güzergahlarında toplamda 208 adet heyelan haritalanmıştır. Yine aynı alanda her bir heyelan için yapılan jeomorfolojik tehlike analizlerine bağlı olarak oluşturulan güvenli yavaşma zonları ile heyelan gövdesine maksimum yaklaşım mesafelerini belirleyerek taşıyıcı direklerin heyelanlardan etkilenmesi minimize edilmiştir.

Çalışma sonucunda ülke yüz ölçümüne kıyasla nispeten çok küçük bir alanda haritalanan heyelan sayısı Türkiye'nin heyelan gerçeğini tekrar gün yüzüne çıkarmaktadır. Enerji Nakil Hatları güzergahlarında bulunan heyelanlara ait envanterlerin oluşturulması ve güvenli yavaşma zonlarının belirlenmesi ile planlanan ya da işletmede olan hatlarda alınabilecek önlemlerde planlayıcıya karar desteği sağlanmıştır.



A GEOMORPHIC MAPPING BASED APPROACH TO SITE SELECTION OF ENERGY TRANSMISSION LINES WITH AIRBORNE LIDAR DATA

SUMMARY

One of the most essential parameters of sustainable development and industrialization is uninterrupted energy transmission. Due to the increasing population and industrialization, energy demand is constantly increasing. In this context, energy production, transmission and distribution services must be able to continue uninterrupted in order for the energy supply to satisfy the increasing demand. Energy transmission projects are increasing day by day and new transmission lines are being added to the existing transmission lines every day. An hourly or daily interruption in energy transmission can cause very serious economic losses, especially for industrial centers.

Geological, geomorphological and meteorological processes such as earthquake landslides and hurricanes that develop along the routes of power transmission lines can often affect energy transmission activity by disrupting the collapse of the pylon in the power transmission lines, breaking the transmission wire and consequences interrupting the energy transmission. In this context, the calculation of natural hazards occurring on the routes of the transmission lines and taking measures against these hazards are of high importance in terms of the safety and sustainable use of the transmission line. These hazard analyses should be carried out both on the planned lines and on the operated lines, supporting the sustainable use of both existing and investment plans.

High Voltage Lines, which are Energy Transmission Lines, are transmission lines that enable the transmission of high voltage electricity between energy generation facilities and distribution facilities. Power transmission lines are usually built in mountainous areas and remote areas to urban areas. As with many energy transmission corridors, the surface processes and especially mass movements in the planning and site selections of High Voltage Lines are posed a significant threat to these lines, which are important for the continuity of electrical transmission.

Landslides are defined as rock, soil and debris that form the slope, moving in the direction of the slope due to gravity and often increased water content. Sudden and prolonged rainfall, sudden snow melts, changes in local base (water) level, earthquakes and anthropogenic activities are the most common triggering factors of landslides. It is also observed that anomalies in temperature and precipitation regimes observed on a global scale due to global climate change cause landslide type, volume and frequency distribution to change on a regional and global scale.

Landslides that develop mostly in the type of slide, flow and fall on line routes, causing collapses and bending of the corresponding pylon, pose a high risk to line safety. This makes it even more important to identify landslides and carry out hazard assessments, which is a highly dynamic geomorphological process for the protection of costly engineering structures.

The average foundation depth of the pylon in the transmission lines is 4 meters. In order to affect this zone and threaten the safety of the line due to the deformations they create on the pylon mast foundations or bodies, the identification of landslides along line routes and the inventory map containing attribute information are of high importance for the sustainability of energy transmission.

Geomorphological hazard assessments due to landslides are carried out using the heuristic approach (expert-based), field observation reports, and regional-scale landslide catalogs to plan these electricity transmission lines. Although field work forms the basis of the choice of location, it is often carried out locally along a specific corridor predetermined for the transmission line. However, surface processes are in very large areas and in mutual interaction. Very complex hillside processes such as landslides are a process that can vary in impact distances, not only within the local corridors in question, but also from much more remote areas. In addition, landslides that bear the characteristics of the stream basins in which they develop are affected by the base level changes in these basins and short-term land cover changes. In this context, in terms of precision, accuracy, and working life in planning engineering structures on a local scale; these data are incommensurate to understand the modern landslide hazard and take related measures.

In this respect, within the scope of this thesis, landslides, which are geomorphological processes that damage energy transmission activity as a result of the deformations they create in the foundations of energy transmission pylon, are evaluated in the selection and planning of transmission lines, while geomorphological and methodical principles are included.

The presence of landslides on line paths, especially in dense vegetation-covered hillslopes, and the problems caused by the hillslope processes that may develop accordingly are largely excluded from planning. In Turkey, 68% of the areas affected by landslides are located under dense forest cover. Light Detection and Ranging (LiDAR) Method was used to identify landslides and inventory mapping in areas covered with mountains and dense vegetation on line routes, especially interpretations from optical images, to eliminate restrictions related to vegetation.

Digital Elevation Models (DEM) with a resolution of 1 m is produced from LiDAR data. Topographic openness values were produced from Digital Elevation Models (DEM) and then Red Relief Image Maps (RRIM) proposed by Chiba et al., (2008) were produced to address distortions in shadow-dependent 3D depth perception. The type and then depth information of the landslides mapped using Red Relief Image Maps (RRIM) were calculated. Cruden and Varnes (1996) classification was used in landslide type classification. The protocol proposed by Burns and Madin (2009) was followed in the landslide depth classification. A total of 208 landslides were mapped on high voltage lines routes where landslide inventories mapping in corridors 12 km long and approximately 500 m wide using LiDAR DEM derivatives.

The next step defined avoidance zones based on the retrogressive and flanks expansion of each landslide, representing the maximum area to be deformed. The protocol proposed by Burns and Mickelson (2016) in defining avoidance zones has been adopted. Avoidance zones and maximum deformation zones were determined and mapped.

Within the scope of the study, modified Analytical Hierarchy Process (M-AHP) method was used to determine the activity situations and relative hazard situations of landslides along the electricity transmission line route. AHP is a method of decision-making based on expert opinion. In order to eliminate the uncertainties arising from subjective evaluation in the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, the Modified Analytical Hierarchy Process (M-AHP) method proposed by Nefeslioglu et al. (2013) has been applied.

Modified Analytic Hierarchy Process (M-AHP) method is used within the scope of the activity status of landslides mapped in the study area and geomorphological relative hazard assessment, and related classifications have been established. In determining the activity status of landslides, parameters such as Topographic Roughness Index (TRI), average slope ratio of landslide headscarp and channel density were used and then these parameters were weighted according to their severity. At this stage, the Terrain Roughness Index (TRI) was produced to detect morphological heterogeneity of each landslide. The average slope ratio and steepness of landslide headscarp are relatively high in landslide activity, which was included in the analysis based on acceptance. As the final activity parameter, the channel density value was included in the analysis, taking into account the time factor required for the development of the channel system within a landslide unit with a high activity.

Then, activity, speed and volume parameters were weighted for geomorphological relative hazard assessment. At this stage, landslide volume and speed classification recommended by Cardinali (2002) was used in the volume and speed classification of landslides. In this context, the activity status and geomorphological relative hazard models produced and the geomorphological hazard status due to landslides along the route of the power transmission line were determined. As a result of the identification of landslides in the study area, the creation of avoidance zones and the production of geomorphological hazard models, the pylon foundations of the power transmission lines were excluded from the deformation zones, ensuring the operational safety and sustainable use of the power transmission line.

As a result of the study, the number of landslides mapped in a relatively small area compared to the country's re-reveals the reality of Turkey's landslides.

This thesis study has led to the development of a rule-based approach to landslide hazard assessments based on expert opinion methods in determining the routes of power transmission lines. In this context, it has been contributed to reducing the dangers that may occur due to landslides developing on the routes of power transmission lines and ensuring line safety and sustainable energy use. Within the scope of the study, a measurable decision support system based on geomorphological assessments was developed for the benefit of Power Transmission Line projects using subordinates such as landslide and avoidance zones, activity status where expert opinion is evaluated on a semi-quantitative basis with M-AHP method, and geomorphological hazard assessment.



1. GİRİŞ

Artan nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak enerji talebi sürekli olarak yükselmektedir (IEA, 2020). Bu kapsamda enerji arzının artan talebi karşılayabilmesi için enerji üretim, iletim ve dağıtım hizmetlerinin kesintiye uğramadan devam edebilmesi gerekmektedir.

Enerjinin, üretim tesislerinden dağıtım tesislerine iletilebilmesi; elektrik, gaz ve petrol iletim hatları vasıtasıyla gerçekleşir. Enerji nakil hatları güzergahlarında gelişen deprem (örn, Dong vd., 2004; Eidingen, 2009), heyelan (örn, Luo vd., 2020; Xie vd., 2020) ve kasırga (örn, Blake vd., 2013) gibi jeolojik, jeomorfolojik ve meteorolojik süreçler çoğu zaman enerji nakil hatlarındaki taşıyıcı direklerin yıkılmasına, iletim kablolarının kopmasına ve bunun sonucunda enerji iletimini kesintiye uğratarak; enerji iletim faaliyetini etkileyebilmektedirler.

Ülkemizde temelleri ortalama olarak 4 m derinliğine sahip enerji iletim direkleri yüzey süreçlerinden, özellikle de heyelanlar tarafından tahrip olabilmektedirler. İletim hattının ömrü süresince zamana bağlı heyelan tehlikesi ve yeni kurulan hatlarla birlikte riske maruz kalma olasılıkları giderek artmaktadır.

2019 yılına kadar yamaç süreçlerinin etkisi yer seçimi ve işletmede doğrudan dikkate alınmazken, heyelanların mevcut iletim hatlarına verebileceği zararların azaltılmasına yönelik jeomorfoloji temelli yaklaşımlar sınırlıdır. Bu yönüyle, bu tez kapsamında enerji iletim direklerinin temellerinde meydana getirdikleri deformasyonlar sonucu; enerji iletim faaliyetine zarar veren jeomorfolojik süreçlerden olan heyelanların, iletim hatlarının yer seçiminde ve planlanmasında değerlendirilirken, jeomorfolojik ve yöntemsel olarak temel alınması gereken esaslara yer verilmiştir.

Heyelan, yamacı oluşturan kaya, toprak ve molozun, eğim doğrultusunda yerçekimi ve çoğunlukla da su içeriğinin artmasına bağlı olarak hareket etmesi olarak tanımlanır (Cruden ve Varnes, 1996). Ani ve uzun süren yağışlar (örn, Ibsen ve Casagli, 2004), ani kar erimeleri (örn, Cardinali vd., 2000), yerel taban (su) seviyesindeki değişimler (örn, Zhang vd., 2020; Nefeslioglu ve Gorum, 2020), depremler (örn, Gorum vd.,

2011) ve antropojenik faaliyetler (örn, Jaboyedoff vd., 2018) heyelanların en yaygın tetikleyici unsurları olarak karşımıza çıkmaktadırlar (Wieczorek, 1996). Yine küresel iklim değişimine bağlı olarak; küresel ölçekte gözlemlenen, sıcaklık ve yağış rejimlerindeki anomalilerin bölgesel ve küresel ölçekte heyelan tip, hacim ve frekans paternlerinin değişmesine neden olduğu (Gariano ve Guzzetti 2016) gözlemlenmektedir.

Hat güzergahlarında çoğunlukla kayma, akma ve düşme tipinde gelişen, buna bağlı taşıyıcı direklerde yıkılmalara ve eğilmelere neden olan heyelanlar hat güvenliği açısından yüksek risk oluşturmaktadır. Bu durum yüksek maliyetli mühendislik yapılarının korunması açısından son derece dinamik bir jeomorfolojik süreç olan heyelanların, tanımlanması ve tehlike değerlendirmelerinin yapılmasını daha da önemli bir hale getirmektedir.

Ülkemizde enerji nakil hatlarının güzergahlarının belirlenmesinde yüzey süreçlerine bağlı değerlendirmeler genellikle uzman görüşüne dayalı bir bakış açısıyla gerçekleştirilmektedir. Buna karşın, uzman görüşüne dayalı iletim hatlarının yer seçimi saha çalışmaları sonucu yürütülmektedir. Saha çalışmaları her ne kadar yer seçiminin temelini oluştursa da çoğu zaman iletim hattı için önceden belirlenen, belirli bir koridor boyunca ve lokal olarak gerçekleştirilmektedir. Oysaki yüzey süreçleri çok geniş alanlarda ve karşılıklı bir etkileşim içerisinde.

Heyelan gibi çok karmaşık yamaç süreçleri, yalnızca söz konusu lokal koridorlar içerisinde değil çok daha uzak alanlardan kaynaklanarak etki mesafeleri değişkenlik gösterebilen bir süreçtir. Bunun yanı sıra içerisinde geliştikleri akarsu havzalarının karakteristiklerini taşıyan heyelanlar bu havzalardaki taban seviyesi değişimlerinden ve kısa dönemli arazi örtü değişimlerinden etkilenmektedir.

Enerji nakil hatlarının heyelan tehlikesinin en düşük olduğu, güvenli alanlarda tesis edilmesi için tehlike haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Heyelanların tanımlanması ve envanterlerinin oluşturulması; tehlike haritaları için en önemli veri altlığını oluşturur (örn, Guzzetti vd., 2012).

Heyelan envanterlerinin oluşturulmasında farklı veri altlıkları kullanılmaktadır. Tarihsel kayıtlar (örn, Guzzetti vd., 1994; Valenzuela vd., 2017), hava fotoğrafları ve yüksek çözünürlüklü multispektral görüntüler (örn, Nefeslioğlu vd., 2011; Gorum vd., 2013), arazi temelli haritalama (örn, Görüm, 2016) gibi altlıklar kullanılarak

oluşturulan geleneksel envanter yöntemlerinin yanı sıra, uzaktan algılama (UAV) (örn, Niethammer vd., 2010; Comert vd., 2019) ve Light Detection and Ranging (LiDAR) (örn, Chen vd., 2014; Pierson vd., 2016; Bernat vd., 2019) gibi modern yöntemler kullanarak daha hassas mekânsal bilgi içeren heyelan envanterleri oluşturulabilmektedir (Gorum, 2019).

Enerji nakil hatları, Türkiye özelinde çoğu zaman arazi gözlemlerini zorlaştıran engebeli ve bitki örtüsü yoğunluğu yüksek alanlarda tesis edilmektedir. Çalışma kapsamında bitki örtüsüne bağımlılığı ortadan kaldırması, yüksek hassasiyette mekânsal çözünürlük sunması ve heyelan envanterlerinin oluşturulmasında diğer yöntemlere kıyasla daha doğru sonuçlar vermesi açısından (örn, Razak vd., 2011; Petschko vd., 2016); Hava LiDAR yöntemi ile oluşturulan yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükselti Modelleri (SYM) kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı enerji nakil hattı güzergahlarında oluşturulan heyelan envanterlerinde yer alan öznitelik bilgileri kullanarak; heyelanlara ait jeomorfolojik tehlike değerlendirmelerinin yapılması ve bunun sonucunda uzman görüşünü kapsayan Modifiye Edilmiş Analitik Hiyerarşı Süreci (M-AHP) yöntemi (Nefeslioglu vd., 2013) ile belirlenecek tehlike sınıfları ile güvenli yavaşma zonlarının belirlenmesi ve dolayısıyla enerji nakil hatları için en uygun hat güzergahlarının tespit edilmesidir.

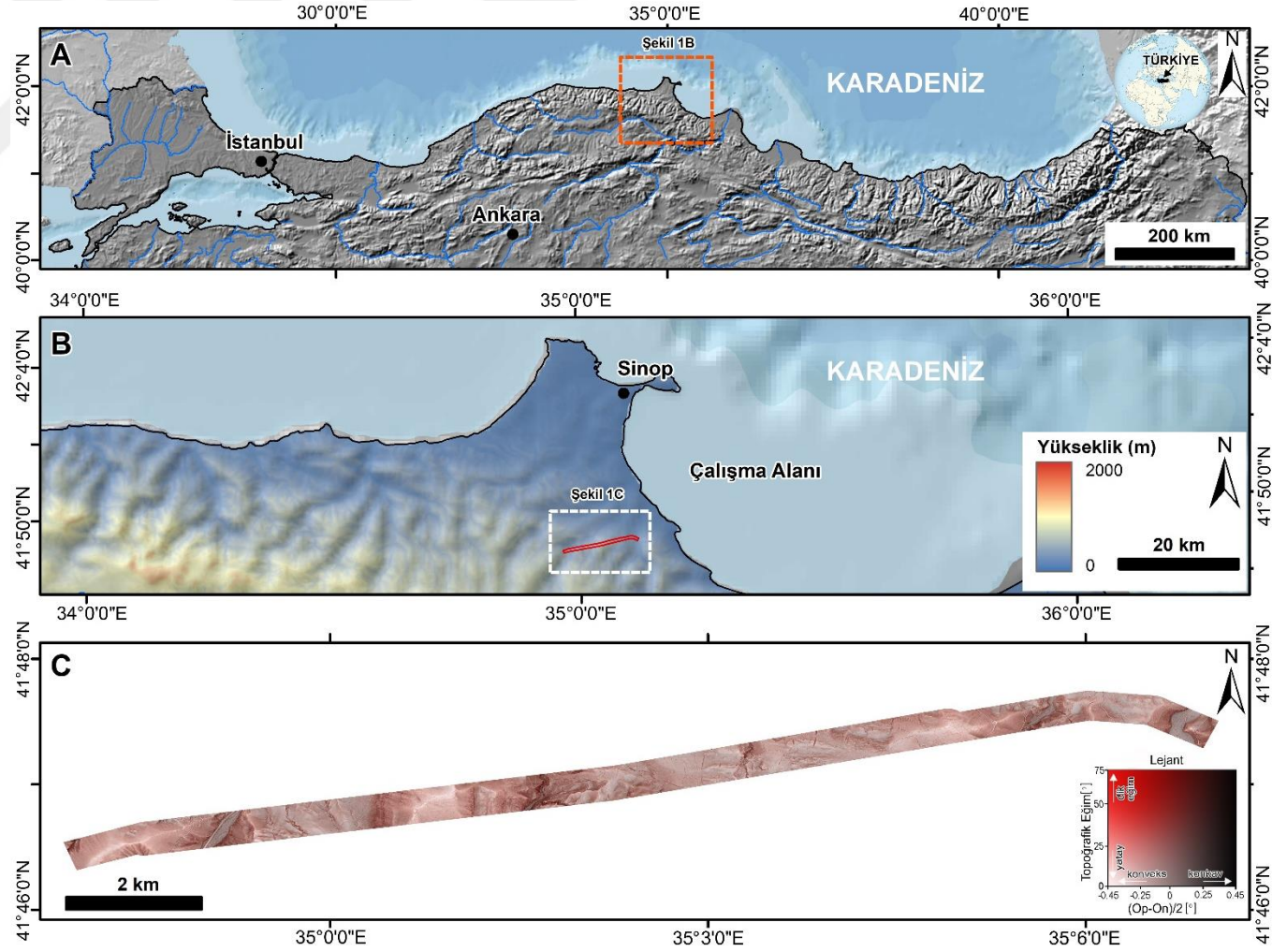


2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz Bölümünde Sinop ilinin Merkez ve Gerze ilçeleri arasında ortalama 500 m genişliği ve 12,8 km uzunluğu olan doğu-batı yönlü bir koridor halinde 6,4 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 2.1A).

Sinop dağlarından kaynaklanan dört akarsu vadisi ile dik bir şekilde kesilen çalışma alanında, yükselti değerleri vadilerin içlerindeki akarsu yataklarında 140 m ile 380 m arasında, dağlık kesimde ise 400 m ile 850 m arasında değişmektedir. Sayısal Yükselti Modelinde (SYM) ortalama yükseklik 1mx1m piksel boyutunda 584 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.1B). Eğim değerleri 0° ile 78° arasında değişmektedir. Çalışma alanının ortalama eğimi 22°'dir. Eğim değerleri genellikle akarsu vadilerindeki yamaçlarda ve çalışma alanının doğusunda daha yüksektir. Çalışma alanında, özellikle akarsu vadi yamaçlarındaki kısa mesafelerde gözlemlenen yüksek topoğrafik rölyef değerleri, dik eğimli yamaçlar ve akarsuların farklı düzeylerde derine kazması; yamaç morfolojisini belirleyen ana etkenlerdendir (Şekil 2.1C). Çalışma alanının içerisinde bulunduğu Sinop ili yıllık ortalama 685,9 mm yağış miktarı ile denizel ılıman bir iklime sahiptir. Bölge de aylık bazda en düşük yağış Temmuz (33 mm) ayında, en yüksek yağış ise Aralık (90 mm) ayında gözlemlenir. Dönemsel olarak en yağışlı sezon Ekim-Aralık dönemidir (MGM, 2020).

Bölgedeki heyelanların ana tetikleyici unsurları yüksek eğim değerlerine sahip engebeli topoğrafya, ani ve uzun süreli yağışlar ve heyelan duyarlılığı yüksek karbonatlı kırıntılı birimlerin yaygın olarak yüzeyleylenmesidir (Çan vd., 2013). Heyelanların büyük bölümü Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner kırıntılı birimleri olan Sinop, Atbaşı ve Akveren Formasyonlarında (Akgun vd., 2012), çalışma alanında ise Üst Kretase – Eosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar üzerinde gelişmektedir. Çalışma alanında genellikle heyelan dağılımı derin kaymalar ve sık kayma bileşenli akmalar şeklinde gözlemlenmektedir. Mevcut heyelanların yaklaşık %95'i mescere kapalılık oranı %10-40 olan orman örtüsü içerisinde yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Çalışma alanına ait Lokasyon (A), Yükseklik (B) ve Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritası (C).

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1 LiDAR Verilerinin İşlenmesi ve Sayısal Yükselti Modellerinin Oluşturulması

Çalışma kapsamında heyelanların haritalanmasında ve envanterlerinin oluşturulmasında LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutundan üretilen 1mx1m mekânsal çözünürlüğe sahip LiDAR Sayısal Yükselti Modelleri (SYM) ve türevleri kullanılmıştır (Şekil 3.1).

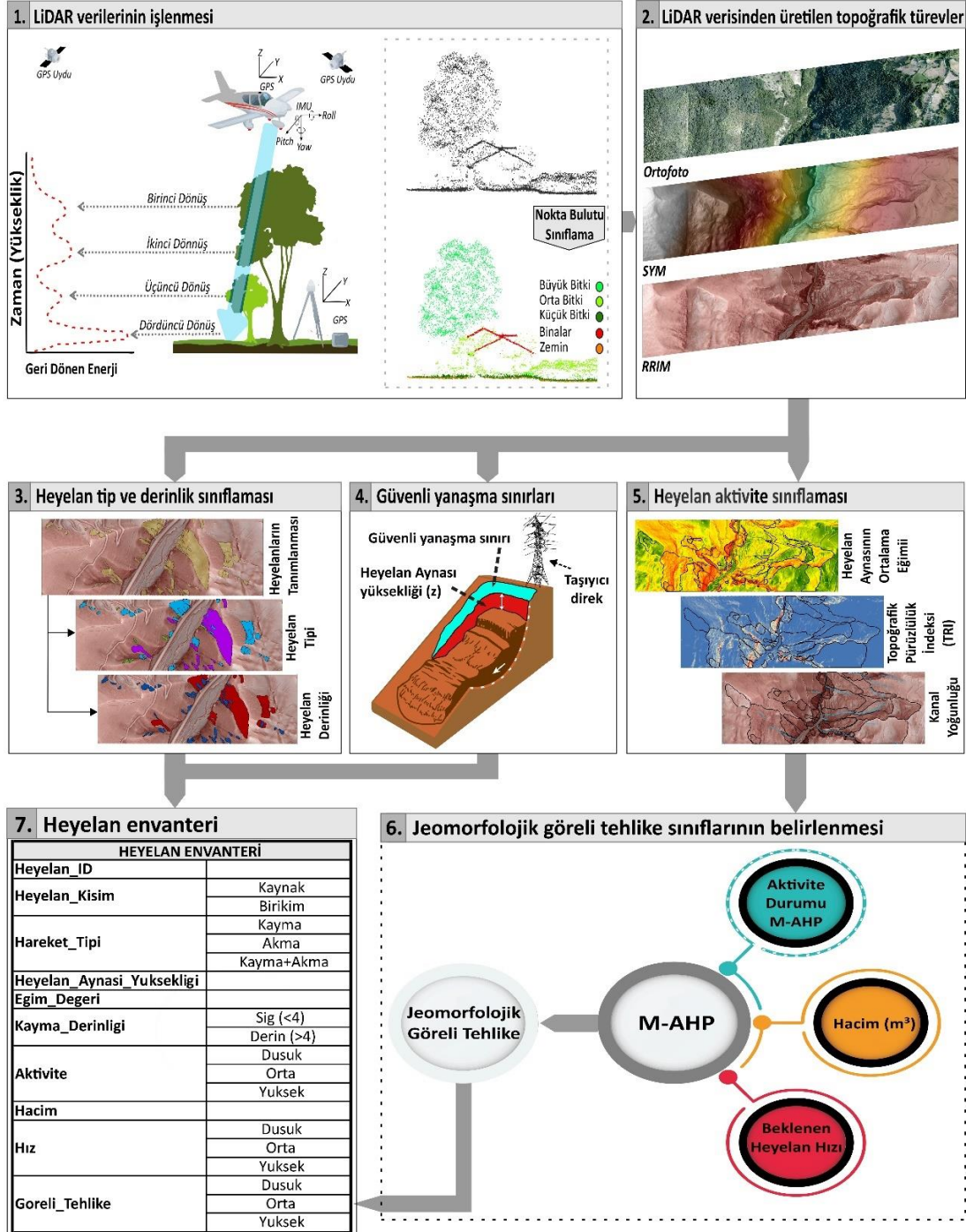
Çalışmada kullanılan yüksek çözünürlüklü SYM, uçak gövdesine monte edilmiş LiDAR platformu (Riegl ALS-Q680i) ile Ağustos 2018 tarihinde gerçekleştirilen uçuş sırasında yapılan lazer tarama sonucu üretilen nokta bulutundan elde edilmiştir.

Hareketli bir platform olan Hava LiDAR sistemi verilerine ait konumsal bilginin doğruluğunun sağlanması için çalışma alanına GPS istasyonu kurulmuştur. Çalışma alanının çapı 30 km'den küçük olduğu için çalışma alanında bir adet sabit GPS istasyonu kurulmuştur.

Hava LiDAR veri setinin mekânsal ve sınıflama doğruluğunun sağlanabilmesi için statik GPS istasyonu verileri, Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) istasyonundan alınan 30 saniyelik RINEX verileri ile dengelenerek, statik GPS istasyonunun konumu (X,Y,Z) hesaplanmıştır. Mekânsal ve sınıflama doğruluğu ortalaması yatayda 0,257 m ve düşeyde 0,0593 m olarak hesaplanmıştır.

Hava LiDAR sistemine entegre edilmiş olan Atalet Ölçüm Ünitesi (IMU) ve kinematik GPS verileri kullanılarak oluşturulan rota (trajectory) dosyası, statik GPS istasyonundan elde edilen RINEX verileri ile dengelenmiştir. Dengelenmiş olan rota dosyası IMU dan gelen verilerle tekrar dengelenerek yüksek hassasiyete sahip rota dosyası oluşturulmuştur. Rota verisi kullanılarak, LiDAR'dan elde edilen veri seti (Hava LiDAR cihazının kaydettiği sinyaller) ve boresight parametrelerinin, Riegl RiWorld (v. 1.7.1) yazılımı ile 3 boyutlu koordinatları hesaplanmış ve bu işlem sonucu nokta bulutu oluşturulmuştur.

Farklı uçuş hatları içeren LiDAR şeritlerindeki nokta verilerinin eşleşebilmesi için boresight kalibrasyon değerleri en küçük kareler eşleşmesi (least-squares matching) yöntemi kullanılarak; Roll= 0,21809, Pitch= 0,05369, Yaw= 0,03646° olarak hesaplandı.



Şekil 3.1 : Çalışma kapsamında izlenen işlem adımları. İşlem adımlarının sayısal değerleri işlem önceliği sırasına göre belirlenmiştir.

Kalibrasyon değerleri kullanılarak yapılan eşleştirme sonucu üst üste binen şeritlere dengelenme işlemi uygulanmış ve sonrasında yapılan hata giderme işlemi sonucu standart sapma değeri 0,0245 cm olarak bulunmuştur. Oluşturulan nokta bulutunda çalışma alanı içerisinde 1 m²'de ortalama 16 nokta olduğu gözlemlenmiştir.

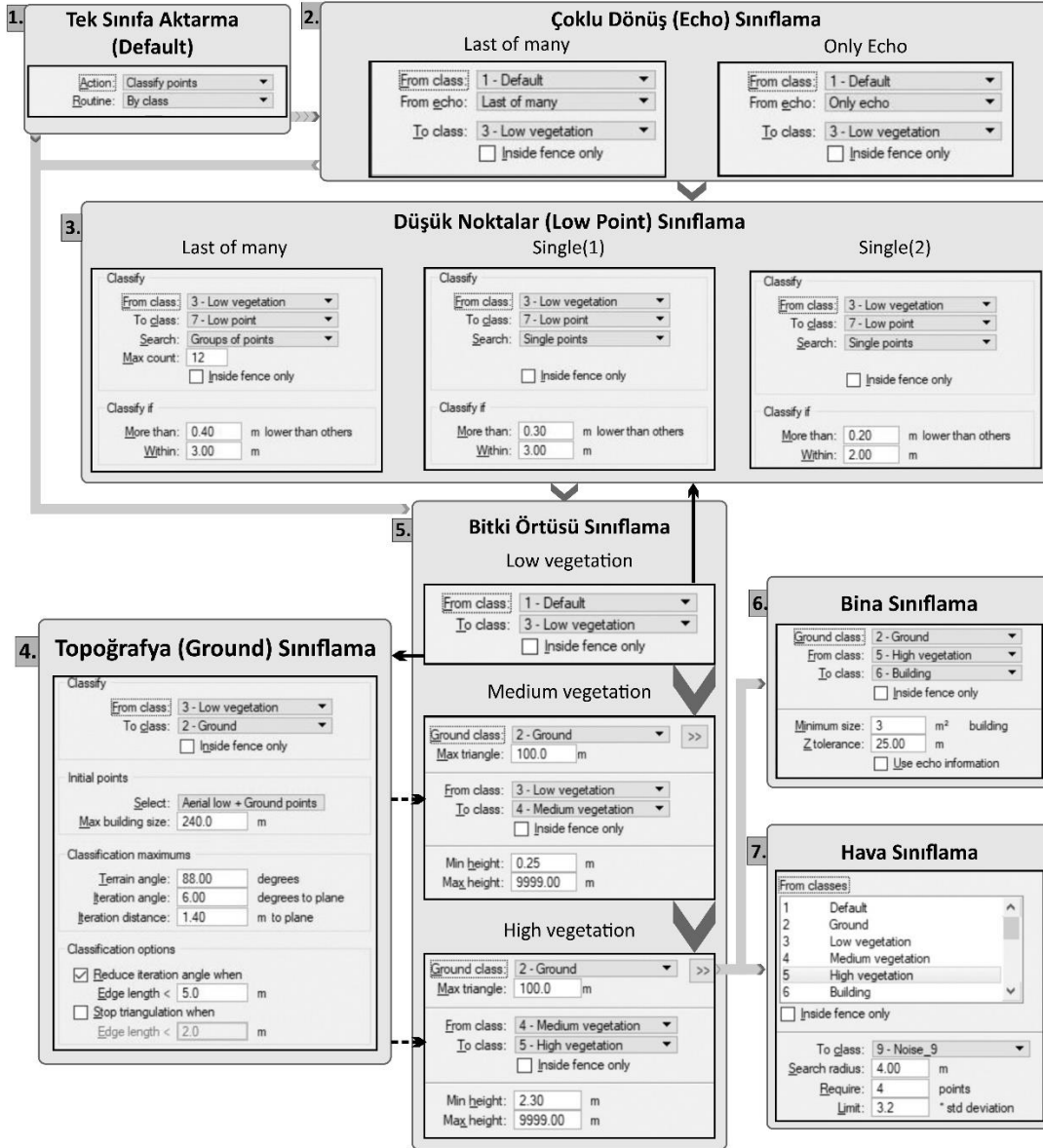
Nokta bulutu sınıflandırma işlemi zemin ve zemin dışındaki (rn. yüksek ve alçak vejatasyon, yapılar, vb.) olmayan noktaların belirlenebilmesi için gereklidir. Sınıflandırma işlemi ile her bir LiDAR noktasının temsil ettiği obje sınıfında bulunması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada nokta bulutu sınıflama işlemi için TerraSolid yazılımının TerraScan modülü, sınıflandırılmış nokta bulutu verilerinden Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) retilmesinde ise LiDAR 360 yazılımı kullanılmıştır.

Nokta bulutunun otomatik sınıflanmasında TerraScan yazılımındaki makrolar kullanılmıştır. Topoğrafya retimi için başlangıçta tüm noktalar default sınıfına aktarıldı ve ardından nokta bulutunun çoklu dönüş özelliğinden yararlanmak için “echo makroları” çalıştırıldı. Çıplak topoğrafya yüzeyine sahip noktalar çoklu dönüş makroları kullanılarak belirlendi. Çoklu dönüş makroları ile elde edilen topoğrafya noktaları mutlak topoğrafyaya ait noktaların değil, topoğrafyaya ait olma olasılığı yüksek noktaların belirlenmesi işlemidir (Görüm, 2019).

Muhtemel topoğrafya yüzeyi noktaları belirlendikten sonra, bu yüzey altında kalan noktaları sınıflamak için low points makroları üretilmiştir. Gürültü değer olarak tanımlanan havadaki noktalar hava makrosu ile tespit edilmiştir. Nihai topoğrafya yüzeyinin belirlenmesi amacıyla çoklu dönüş makrosu ve düşük nokta makrosu çalıştırıldıktan sonra ground makrosu oluşturulmuştur. Bu bağlamda nokta bulutu, zemin, bitki örtüsü (düşük-orta-yüksek), bina ve gürültü nokta (düşük-hava) gibi standart parametrelerle sınıflandırılmıştır (şekil 3.2).

Sınıflandırılmış nokta bulutundan üretilen SYM verileri kullanılarak, SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) (Conrad vd., 2015) yazılımı ile ileri düzey analizlerde kullanılacak altlıklar olan topoğrafik açıklık (şekil 3.3A), arazi pürüzlülük indeksi ve topoğrafik eğim gibi SYM türevleri üretilmiştir (şekil 3.1).



Şekil 3.2 : LiDAR nokta bulutu sınıflandırma aşamaları (Görüm, 2019'dan uyarlanmıştır).

3.2 Kırmızı Topoğrafya Görüntü Haritaları (RRIM) ve Heyelan Tanımlama

Sayısal yükseklik modelleri kullanılarak heyelanların tanımlanmasında hillshade gibi SYM türevlerinde gözlemlenen gölgelendirmeye bağlı 3B derinlik algısındaki bozulmaların önüne geçebilmek ve heyelan gövdelerinin, heyelanlara ait jeomorfolojik birimlerin hassas bir şekilde haritalanabilmesi için Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritaları (RRIM) (Chiba vd., 2008) üretilmiştir.

Bu görüntüleme yöntemi kırmızı renklendirilmiş eğim katmanının, topoğrafik açıklık değerleri olan pozitif açıklık (O_p) ve negatif açıklık (O_n) değerleri kullanılarak üretilen I katmanı;

$$I=O_p-O_n/2 \quad (3.1)$$

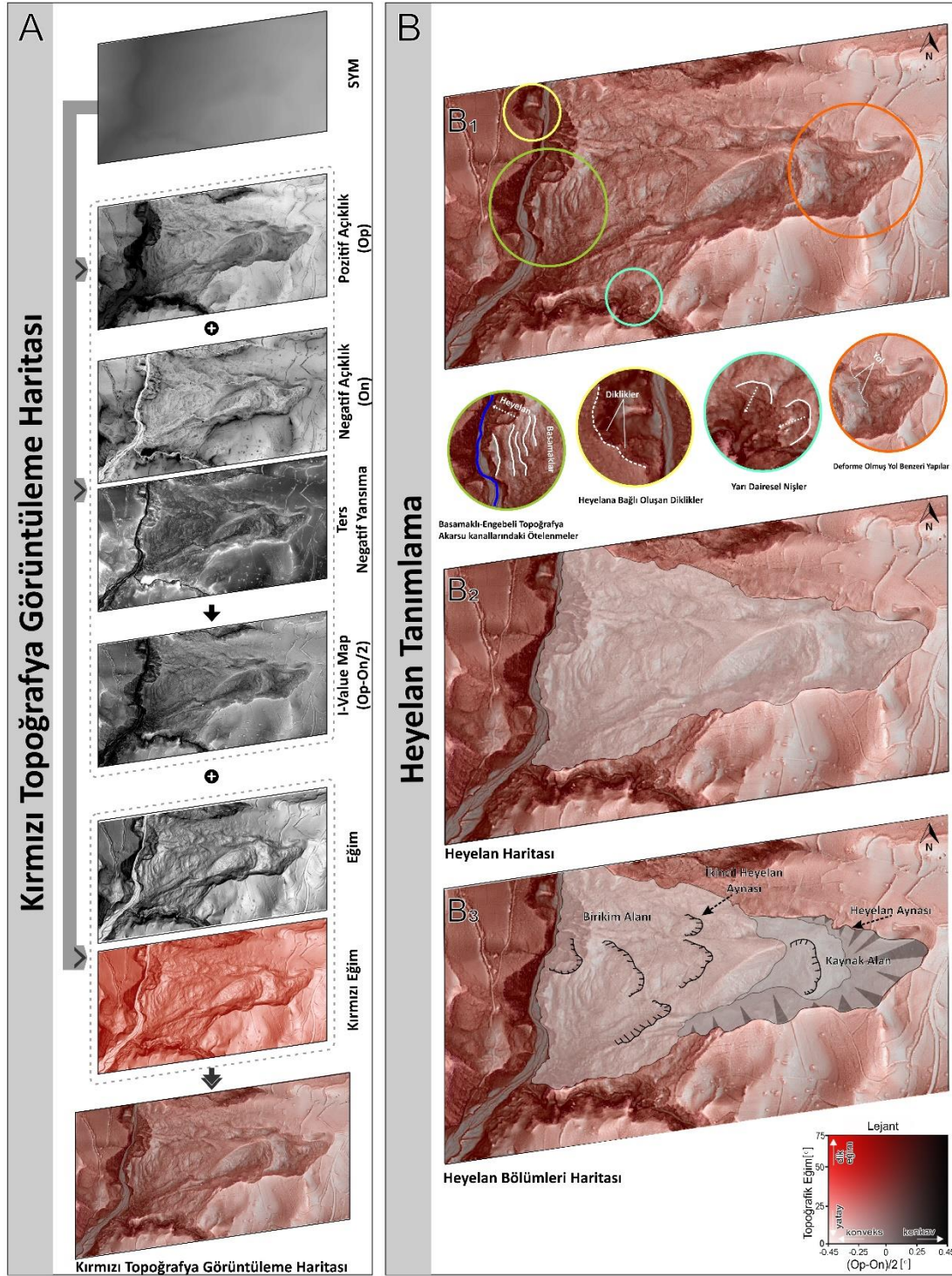
ile kombinasyonu sonucunda elde edilir (Chiba vd., 2007; Chiba vd., 2008) (Şekil 3.3A). Pozitif açıklık (O_p) değeri sabit bir noktadan topoğrafyaya bakıldığında gözlemlenebilen içbükey yüzeyleri, negatif açıklık (O_n) değerleri ise dış bükey yüzeyleri (Yokoyama vd., 2002) temsil eder.

Kırmızı topoğrafya görüntüleme haritaları özellikle topoğrafyadaki yatay/dikey eğim değerlerini ve içbükey/dışbükey yamaçları gölgelendirmeden bağımsız bir şekilde gösterebildiği için heyelanların hassas bir şekilde haritalanabilmesinde (Görüm, 2019) temel haritalama altlığı olarak kullanılmıştır (Şekil 3.1).

Çalışma alanındaki heyelanlar iletim hattı planlamasına uygun olacak şekilde, mümkün olan hassasiyet ve doğruluğu en üst düzeyde tutmak için 1:500-1:2000 ölçeğinde haritalanmıştır.

Heyelanların tanımlanmasında basamaklı-engebeli topoğrafya, heyelanlara bağlı oluşan diklikler, yarı dairesel nişleri ve deforme olmuş yol benzeri yapılar gibi yüzey morfolojisindeki değişimler (Dikau., 1996) tanımlama parametreleri olarak kullanılmıştır (Şekil 3.3B-1). Ana heyelan ünitesi haritalandıktan (Şekil 3.3B-2) sonra heyelanlara ait bölümler ayrıca haritalanarak heyelan bölümleri haritaları oluşturuldu (Şekil 3.3B-3).

Heyelanların tanımlanmasında kullanılan parametreler ayrıca ortofotolar, eş yükselti eğrileri ve gölgelendirme haritaları kullanılarak tekrar analiz edildi ve böylece tanımlama doğruluğunun artırılması sağlandı. Heyelanlar Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırması temel alınarak kayma, kayma bileşenli akma ve akma olarak sınıflandırıldı.



Şekil 3.3 : Kırmızı Topoğrafya Görüntüleme Haritalarının (RRIM) üretilmesinde (A), heyelanların tanımlanması ve haritalanmasında (B) takip edilen işlem adımları.

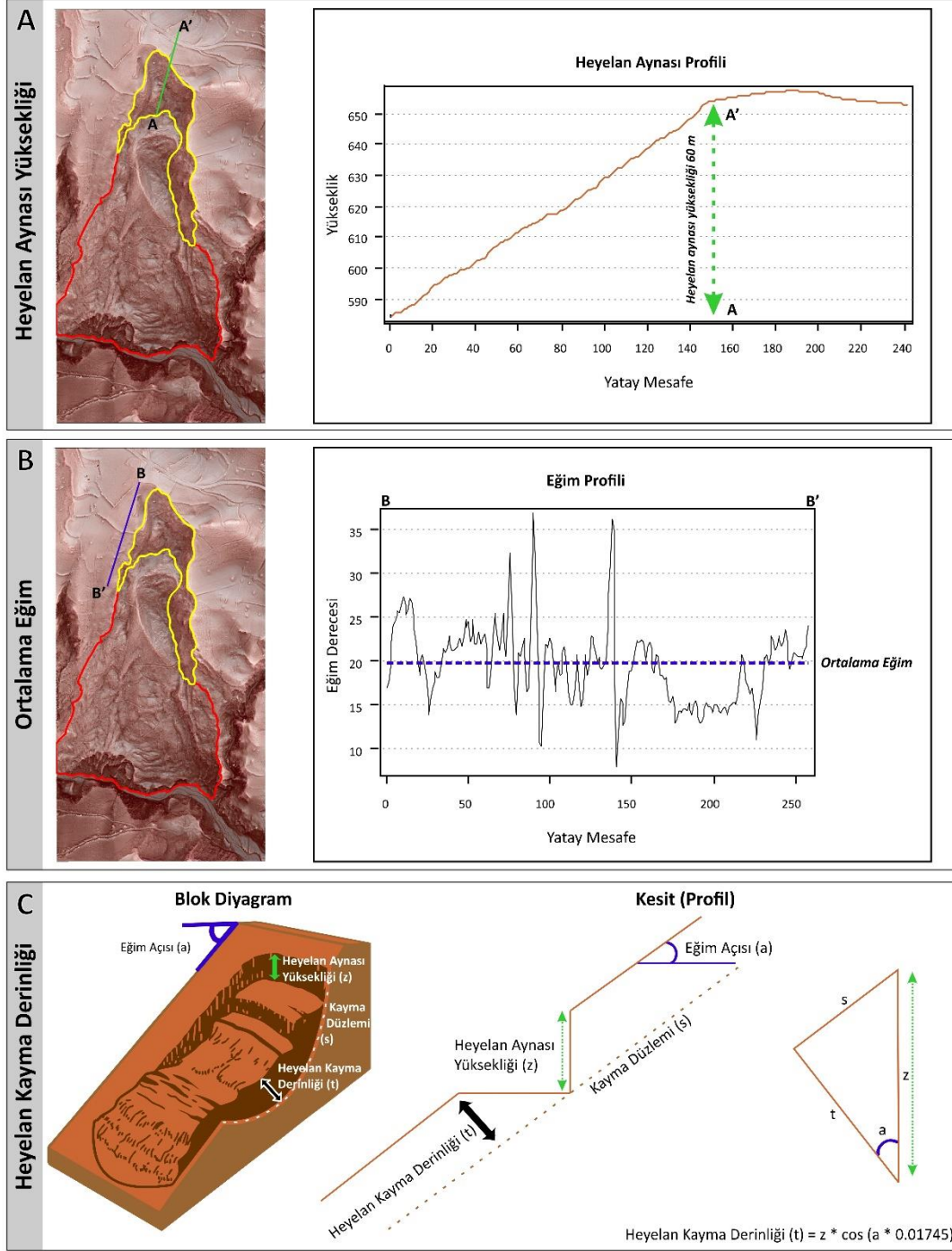
3.3 Heyelan Kayma Derinliği

Heyelan kayma derinliklerinin hesaplanmasında Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokolde yer alan heyelan aynası yüksekliği, ortalama eğim değeri ve sonrasında heyelan kayma derinliği değeri ArcGIS (v10.8) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. İlk etapta her bir heyelanın heyelan aynası yüksekliğinin hesaplanması için, farklı noktalardan en düşük ve en yüksek yükselti değeri alınmıştır. Sonrasında farklı noktalardan alınan yükselti değeri ortalaması alınarak heyelan aynası yüksekliği tespit edilmiştir (Şekil 3.4A). Heyelan aynası yüksekliği tespit edildikten sonra ikinci adım olan ortalama eğim değeri hesaplanmıştır. Eğim değeri hesaplanmasında, heyelan oluşmadan önceki muhtemel yamaç eğiminin hesaplanması gerekmektedir. Bu değeri, heyelana komşu olan deformasyon gelişmemiş yamaçtan alınan profildeki ortalama eğim değeri hesaplanması ile bulunur. Burada eğim değeri varyansa bağılı sapmalar dikkate alınarak eğim değeri ortalaması alınır ve derece cinsinden (0°-90°) kaydedilir (Harp vd., 2006; Burns vd., 1998) (Şekil 3.4B). Kayma derinliğinin hesaplanabilmesi için bu iki temel değeri hesaplandıktan sonra eğim açısı dereceden radyana çevrilir (Radyan = Derece * ($\pi / 180 = 0.01745$)). Hesaplanan değeri;

$$\text{Heyelan } t = z * \cos(a * 0.01745) \quad (3.2)$$

[Heyelan Kayma Derinliği = Heyelan Aynası Yüksekliği * Cos (Eğim Değeri * 0.01745)] denkleminde yerine yazılarak heyelan kayma derinliği hesaplanmıştır (Slaughter vd., 2017) (Şekil 3.4C).

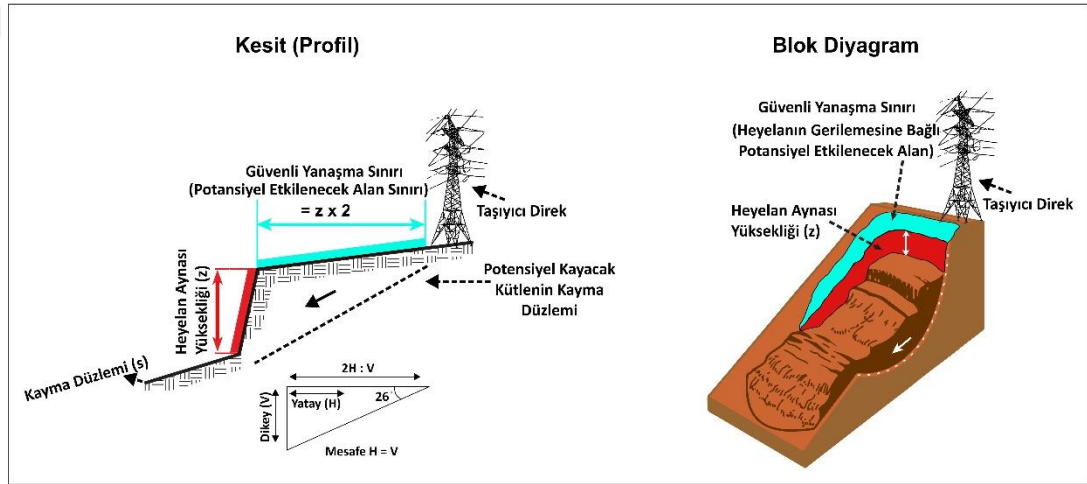
Heyelan derinlik sınıflamasında önceki çalışmalarda kayma derinliği sığ heyelanlar için <2 m, derin heyelanlar için >5m (Sidle ve Ochiai, 2006) gibi farklı eşik değeri tanımlanmıştır, ancak genel kabul gören bir eşik değeri mevcut değildir. Çalışma kapsamında derinlik sınıflamasında sabit bir eşik değeri olmadığı için Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokol (Burns ve Madin, 2009; Slaughter vd., 2017) ve Elektrik İletim Hatlarındaki taşıyıcı direklerin temel derinlikleri (ortalama 4m) baz alınarak yapılan heyelan derinlik (sığ - derin) sınıflamasında; 4 m eşik değeri olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.4 : Heyelan aynası yüksekliği (A) ve deformasyon gelişmemiş ortalama yamaç eğimi (B). Heyelan kayma derinliğinin hesaplanması işleminin blok diyagram ve profil gösterimi (C).

3.4 Güvenli Yanaşma Sınırı

Taşıyıcı direklerin, heyelanların aktivite dağılımı dikkate alınarak geriye ve kanatlara doğru ilerlemesine bağlı olarak riski minimize etmek için güvenli yanaşma sınırları oluşturulmuştur. Bu sınırların oluşturulmasında Burns ve Mickelson (2016) tarafından önerilen protokol izlenmiştir. Güvenli yanaşma sınırları bir heyelanın gerilemesine bağlı olarak deformasyona uğratabileceği maksimum yüzey sınırını ifade eder. Bu sınır deformasyona uğramamış (heyelan gelişmemiş) yamaç malzemesinde 26 derecelik içsel sürtünme açısının yatayda denk geldiği mesafe ile tanımlanır ve bu mesafe heyelan aynası yüksekliğinin iki katına karşılık gelir (Şekil 3.5) (Burns ve Mickelson., 2016).



Şekil 3.5 : İletim hattı direklerinin heyelana maksimum yaklaşabilecekleri alan sınırlarının (Güvenli yanaşma zonları) hesaplanması işlemine ait kesit ve blok diyagram gösterimi.

3.5 Jeomorfolojik Görelî Tehlike Değerlendirmesi

3.5.1 Aktivite durumunun tanımlanması

Çalışma kapsamında heyelanlara ait aktivite durumlarının tanımlanmasında ölçülebilen, objektif bir standart belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bakımdan heyelanlara ait Topoğrafik Engelibellik İndeksi (TRI), heyelan aynasının ortalama yamaç eğimi ve heyelan içerisinde gelişen kanalların yoğunluğu hesaplanmıştır. Bu parametre sınıfları kendi içlerinde aktivite durumunun yorumlanması yönünden önem derecelerine göre sınıflandırılarak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılacaklardır.

Ağırlıklandırılan parametre sınıflarının, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yönteminin kişisel değerlendirme kaynaklı hatalarından arındırılabilmesi için Nefeslioğlu vd., (2013) tarafından önerilen Modifiye Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yöntemi kullanılmıştır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

3.5.1.1 Topoğrafik engebelilik indeksi

Riley vd., (1999) tarafından geliştirilen Topoğrafik Engebelilik İndeksi'nde (TRI) her piksel için, ilk olarak merkezdeki piksel ve etrafındaki sekiz piksele ait yükselti değerinin farkı bulunur. Sonrasında bulunan farkların kareleri alınır ardından toplanır ve tekrar kareleri alınır (Riley vd., 1999). Topoğrafik Engebelilik İndeksinde (TRI);

$$TRI = (\sum(z_c - z_i)^2)^2 \quad (3.3)$$

formülde z_c değeri merkezdeki pikselin yükselti bilgisini, z_i ise komşu sekiz pikselden birinin yükselti bilgisini temsil eder (Riley vd., 1999). SAGA GIS (Conrad vd., 2015) programı kullanılarak her bir heyelana ait morfolojik heterojenliğin tespit edilmesi için Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI) üretilmiştir.

3.5.1.2 Heyelan aynasının ortalama eğimi

Heyelan aynasının yamaç eğimi ortalaması ArcGIS (v10.8) programı ile hesaplanmıştır. Parametrenin aktivite değerlendirmesine dahil edilmesinde, heyelan aynasının sarplığı ne kadar yüksek ise göreceli olarak heyelan aktivitesi yüksek olarak kabulü esas alınmıştır.

3.5.1.3 Kanal yoğunluğu

Yüksek aktiviteye sahip bir heyelan birimi içerisinde kanal sisteminin gelişebilmesi için gerekli olan zaman faktörü göz önünde bulundurularak kanal yoğunluğu değeri aktivite parametresi olarak belirlenmiştir. Her bir heyelan içerisinde gelişmiş olan kanal sistemi, Conrad (2003) tarafından geliştirilen SAGA GIS programı içerisindeki kanal ağı modeli (Channel Network and Drainage Basins) ile tespit edilmiştir. Her bir heyelan için, heyelan alanı içerisinde kalan kanal uzunluğunun heyelan alanına bölünmesi sonucu kanal yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır.

3.5.2 Hacim ve hız

Heyelanlara ait hacim ve hız sınıflamasında Cardinali (2002) tarafından önerilen heyelan hacim ve hız sınıflaması kullanılmıştır (Tablo 3.1) (Cardinali vd., 2002).

Heyelanların hacimlerinin hesaplanmasında Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokol takip edilmiştir. Heyelan kayma derinliği (m) ile heyelan alanı çarpılarak (m²) her bir heyelana ait hacim (m³) değeri hesaplanmıştır (Burns ve Madin., 2009).

$$L_v = L_D \cdot L_A \quad (3.4)$$

burada heyelan hacmi (L_v), kayma derinliğinin (L_D) heyelan alanı (L_A) ile çarpımından elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 : Heyelan tiplerine göre, heyelan yoğunluk matrisi (Cardinali vd., 2002'den uyarlanmıştır).

Hacim (m ³)	Hız		
	Çok Hızlı Heyelan (Düşme)	Hızlı Heyelan (Akma)	Yavaş Heyelan (Kayma)
< 0.001	Yavaş		
< 0.5	Orta		
> 0.5	Yüksek		
< 500	Yüksek	Yavaş	
500-10000	Yüksek	Orta	Yavaş
10000-50000	Çok Yüksek	Yüksek	Orta
> 500000		Çok Yüksek	Yüksek
>> 500000			Çok Yüksek

3.5.3 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Modifiye Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yöntemi ile aktivite ve jeomorfolojik görelî tehlike durumlarının belirlenmesi

Çalışma kapsamında elektrik iletim hattı güzergahındaki heyelanlara ait aktivite durumların belirlenmesinde ve sonrasında görelî tehlike durumlarının tespiti edilmesinde Modifiye Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yöntemi kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) uzman görüşünü esas alan bir karar verme yöntemidir (Saaty, 1980). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemindeki sübjektif değerlendirme kaynaklı belirsizliklerin giderilebilmesi için Nefeslioğlu vd., (2013) tarafından önerilen Modifiye Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yöntemi (Nefeslioglu vd., 2013) uygulanmıştır.

M-AHP yönteminin anlaşılabilmesi için AHP yönteminin problem çözümleme de kullandığı altı işlem adımının bilinmesi gerekir (Nefeslioglu vd., 2013). AHP' de ilk etapta problem tanımlaması kapsamında karar noktaları (m) ve karar noktalarını etkileyen faktörler belirlenir (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

İkinci aşamada ise faktörlerin önem derecelerine (Şekil 3.6A-2) göre ikili karşılaştırma matrisleri (Şekil 3.6A-1) oluşturulur (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). İkili

karşılaştırma matrislerinde karşılaştırmalar, tüm değeri 1 olan köşegenin üzerinde yapılır, altındaki değerler için ise her bir değer 1'e bölünür (Şekil 3.6A-3) (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

Üçüncü aşamada ikili karşılaştırma matrislerinin sütun vektörleri kullanılarak faktörlerin önem dağılımları (%) belirlendikten sonra eşitlik Şekil 3.6B-1'de yer alan eşitlik kullanılarak, n adet ve n bileşenli "B" sütun vektörü (Şekil 3.6B-2) oluşturulur (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). "B" sütun vektörlerinin matris formatına dönüştürülmesiyle "C" matrisi (Şekil 3.6B-3) oluşturulur (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). "C" matrisi kullanılarak faktörler arasındaki önem dağılımını (Şekil 3.6B-4) gösteren "W" öncelik vektörü (Şekil 3.6B-5) oluşturulur (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

Dördüncü aşamada Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanır. Bu oran faktör karşılaştırmalarındaki tutarlılığı temsil eder. Tutarlılık oranı faktör sayısı ile lamdanın (λ) karşılaştırılmasına dayanır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). Bu Temel Değer (λ), "A" ikili karşılaştırma matrisi ile "W" öncelik vektörünün çarpımından elde edilen "D" sütun vektörü (Şekil 3.6C-1) ile "W" öncelik vektörünün karşılıklı üyelerinin bölümünden (Şekil 3.6C-2) elde edilen Temel Değerlerin (E) aritmetik ortalaması (Şekil 3.6C-3) alınarak hesaplanır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). Sonrasında Lamda (λ) değeri kullanılarak Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplanır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). Tutarlılık Göstergesinin (CI), Random Gösterge (RI) değerine bölünmesi (Şekil 3.6C-4) sonucu Tutarlılık Oranı (CR) (Şekil 3.6C-5) hesaplanmış olur. Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0,10'dan küçükse, bu değer karar verici tutarlı karşılaştırma yaptığını ifade eder (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

Beşinci aşamada faktörlerin karar noktasındaki (m) önem dağılımları (%) hesaplanır (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). Karşılaştırma işlemi n adet faktör sayısı kadar tekrarlandıktan sonra "G" boyutsal karşılaştırma matrisi oluşturulur. "G" matrisi kullanılarak faktörlerin karar noktalarındaki önem dağılımlarını temsil eden "S" sütun vektörleri (Şekil 3.6D) elde edilir (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

Son aşama olan altıncı aşamada her faktör için elde edilen “S” sütun vektörleri kullanılarak “K” karar matrisleri (Şekil 3.6E-1) oluşturulur (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013). “K” karar matrisi “W” öncelik vektörü ile çarpılması sonucu m elemana sahip “L” sütun vektörü (Şekil 3.6E-2) oluşturulur. “L” vektörü karar noktalarındaki sonuç dağılımını temsil eder (Saaty, 1980; Nefeslioglu vd., 2013).

A	A ₁	A ₂	ikili karşılaştırma matrisi önem dereceleri (Saaty, (1980)' uyarlanmıştır).	A ₃														
2. Aşama	A =	$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$	<table><tr><th>Önem Değeri</th><th>Tanım</th></tr><tr><td>1</td><td>Her iki faktör eşit öneme sahip</td></tr><tr><td>3</td><td>Birinci faktör ikinci faktörden daha önemli</td></tr><tr><td>5</td><td>Birinci faktör ikinci faktörden çok önemli</td></tr><tr><td>7</td><td>Birinci faktör, ikinci faktöre göre tam olarak çok önemli</td></tr><tr><td>9</td><td>Birinci faktör, ikinci faktöre göre mutlak üstünlüğe sahiptir</td></tr><tr><td>2,4,6,8</td><td>Ara değerler</td></tr></table>	Önem Değeri	Tanım	1	Her iki faktör eşit öneme sahip	3	Birinci faktör ikinci faktörden daha önemli	5	Birinci faktör ikinci faktörden çok önemli	7	Birinci faktör, ikinci faktöre göre tam olarak çok önemli	9	Birinci faktör, ikinci faktöre göre mutlak üstünlüğe sahiptir	2,4,6,8	Ara değerler	$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$
				Önem Değeri	Tanım													
1	Her iki faktör eşit öneme sahip																	
3	Birinci faktör ikinci faktörden daha önemli																	
5	Birinci faktör ikinci faktörden çok önemli																	
7	Birinci faktör, ikinci faktöre göre tam olarak çok önemli																	
9	Birinci faktör, ikinci faktöre göre mutlak üstünlüğe sahiptir																	
2,4,6,8	Ara değerler																	
B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅													
3. Aşama	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$	$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix}$	$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$	$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n}$	$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$													
C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅													
4. Aşama	$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$	$E_i = \frac{d_i}{w_i}$	$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$	$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$	$CR = \frac{CI}{RI}$													
5. Aşama	D	S _i																
6. Aşama	E ₁	$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix}$	E ₂	$L = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \vdots \\ l_{m1} \end{bmatrix}$														

Şekil 3.6 : AHP yönteminin birinci aşamasındaki, problemin tanımlanması adımından sonraki hesaplama işlemleri. Harfler ve numaralar sıralamada işlem önceliğini yansıtmaktadır.

M-AHP yönteminin AHP yönteminden iki önemli farkı vardır. Bu farklardan ilki, M-AHP yönteminde AHP’de olduğu gibi uzman ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmaz, yöntem içerisindeki süreçte parametrelerin alabileceği en yüksek puanları tanımlar (Nefeslioglu vd., 2013). Nefeslioglu vd., (2013) tarafından önerilen önem değerleri çizelgesi kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri ve normalize edilmiş parametre puan fark matrisleri oluşturulup, parametreler en büyük parametre puanı üzerinden normalleştirilir.

M-AHP yöntemini AHP yönteminden ayıran ikinci fark ise parametrenin karar noktaları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesidir. Burada her bir parametre kendi en büyük puanına bağlı normalleştirilir ve sonrasında [0,1] aralığındaki

normalleştirilmiş sayı doğrusu üzerinde her parametrenin karar noktalarına olan doğrusal mesafeleri ölçülür. Nefeslioğlu vd., (2013) tarafından önerilen önem değerleri çizelgesi ile sayı doğrusu üzerinde ölçülen mesafelere bağlı olarak önem değerleri tesbit edilir (Nefeslioglu vd., 2013).

Çalışma alanında haritalanan heyelanların aktivite durumlarının belirlenmesi ve sonrasında jeomorfolojik tehlike değerlendirme kapsamında M-AHP yöntemi kullanılarak, ilişkin sınıflandırmalar oluşturulmuştur. Bu aşamada ilk olarak aktivite durumlarının belirlenmesinde heyelanlara ait Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI), heyelan aynasının ortalama eğim oranı ve kanal yoğunluğu gibi parametreler kullanılmış ve sonrasında bu parametreler önem derecelerine göre ağırlıklandırılmıştır. Sonrasında jeomorfolojik göreceli tehlike değerlendirme için aktivite, hız ve hacim parametreleri ağırlıklandırılmıştır (Tablo 3.2).

Çizelge 3.2 : Göreceli tehlike ve aktivite durumu parametre sınıfları ve puanları.

M-AHP	Parametre	Parametre Sınıfları	Parametre Puanları		
Aktivite Durumu	Topoğrafik Engebelilik (TRI)	0.0 - 0.35	2		
		0.35 - 0.83	5		
		0.83- 1.65	7		
	Heyelan Aynasının Ortalama Eğimi	14.6 - 28.8	1		
		28.8 - 38.4	5		
		>38.4	9		
	Kanal Yoğunluğu	0.0 - 0.02	9		
		0.02 - 0.12	2		
		0.12 - 0.45	1		
Jeomorfolojik Göreceli Tehlike	Aktivite	Düşük	1		
		Orta	3		
		Yüksek	9		
	Hacim (m ³)	Akma Kayma+Akma Kayma			
		< 500	2	1	1
		500-10000	5	3	2
	10000-50000	9	5	3	
	Hız	Yavaş	1		
		Orta Hızlı	4		
		Hızlı	9		

M-AHP yöntemi ile çalışma alanındaki, Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI) “2”, heyelan aynasının ortalama eğim oranı “1” ve kanal yoğunluğu “9” değerini içeren bir heyelanın aktivite durumunun hesaplanmasında ilk olarak parametre puan fark matrisi ve en yüksek parametre puanı üzerinden normalize edilmiş puan fark matrisi oluşturulur (Şekil 3.7A) (Nefeslioglu vd., 2013).

İkinci olarak önem değeri çizelgesine göre A matrisi (parametreler arası karşılaştırma matrisi) oluşturulur (Şekil 3.7B) (Nefeslioglu vd., 2013). Üçüncü aşamada C matrisi W vektörü oluşturularak parametrelerin önem dağılımları (%) hesaplanır (Şekil 3.7C) (Nefeslioglu vd., 2013).

Dördüncü aşamada A matrisi ve W vektörü çarpılarak D vektörü oluşturulur (Nefeslioglu vd., 2013). D vektörünün W vektörüne oranlanması ile E vektörü elde edilir (Şekil 3.7D) (Nefeslioglu vd., 2013). Bu aşamada amaç parametre karşılaştırmalarındaki tutarlılığın ölçülmesidir. Burada E vektörünün ortalamasından hesaplanan lamda ($\lambda = 3,04$) ile elde edilen CI (CI=0,02) değeri ve CI değerinin RI değerine oranıyla hesaplanan CR değeri 0,03 olarak bulunmuştur. Bu değer $CR < 0,1$ koşulunu sağladığı için parametrelerin karşılaştırıldığı matris tutarlıdır, sonucu elde edilmiştir (Nefeslioglu vd., 2013).

Beşinci aşamada parametrelerin üç karar noktasındaki önem dağılımlarının (%) hesaplanması için G matrisleri ve S vektörleri oluşturulur. Burada [0,1] aralığında normalleştirilmiş bir sayı doğrusu üzerinde her bir parametrenin karar noktalarına olan uzaklığı değerlendirilerek, parametreler kendi maksimum puanları üzerinden normalleştirilir (Şekil 3.7D) (Nefeslioglu vd., 2013). Aktivite durumu modelindeki normalize parametre puanı 0,111 olan C1 parametresi için üç karar noktası (KN) tespiti gösterilmiştir (Şekil 3.7E) (Nefeslioglu vd., 2013). Bu işlem C2 ve C3 parametreleri için de yapılmalıdır.

Altıncı ve son aşamada C1, C2 ve C3 parametreleri için tespit edilen KN-1, KN-2 ve KN-3 karar noktalarının W vektörü ile çarpımlarını toplamı ile karar noktalarının sonuç dağılımlarını gösteren L vektörü elde edilir. Burada karar noktalarındaki en yüksek sonuç değeri heyelana bağlı aktivite durumunun sonucunu verir (Şekil 3.7F).

Her bir heyelan için düşük, orta ve yüksek karar bilgilerini içeren puanlar modele girilmiştir ve bu puanlar içerisinde en yüksek değerli karar noktası, genel kararı yansıtmaktadır. En yüksek değerlerin heyelan birimlerine taşınması sonucu heyelan aktivite ve görelî tehlike durumlarının tespitindeki en etkili parametre tespit edilerek heyelan aktivite ve görelî tehlike durum bilgisi hesaplanmıştır.

1. Aşama	A	Puan Fark Matrisi				Normalize Edilmiş Puan Fark Matrisi			
		C1 C2 C3				C1 C2 C3			
		C1	0	-1	-8	C1	0.00	-0.11	-0.89
		C2		0	-7	C2		0.00	-0.78
		C3			0	C3			0.00
2. Aşama	B	Önem değerleri çizelgesi (Nefeslioglu vd., 2013)' den uyarlanmıştır							
		Normalleştirilmiş Parametre Puan Farkı							
		0	0.000-0.125	0.125-0.250	0.250-0.375	0.375-0.500	0.500-0.625	0.625-0.750	0.750-0.875
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Onem Değeri	>0	1	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167
			<0	1	0.500	0.333	0.250	0.200	0.167
3. Aşama	C	A Matrisi				C Matrisi			
		C1 C2 C3				C1 C2 C3			W Vektörü
		C1	1.00	0.50	0.11	C1	0.08	0.05	0.09
		C2	2.00	1.00	0.13	C2	0.17	0.11	0.10
		C3	9.00	8.00	1.00	C3	0.75	0.84	0.81
4. Aşama	D	A Matrisi				W Vektörü			
		C1 C2 C3				D Vektörü			E Vektörü
		C1	1.00	0.50	0.11	0.08	0.23	3.01	
		C2	2.00	1.00	0.13	0.12	0.37	3.02	
		C3	9.00	8.00	1.00	0.80	2.47	3.09	
5. Aşama	E	A Matrisi				W Vektörü			
		C1 C2 C3				D Vektörü			E Vektörü
		C1	1.00	0.50	0.11	0.08	0.23	3.01	
		C2	2.00	1.00	0.13	0.12	0.37	3.02	
		C3	9.00	8.00	1.00	0.80	2.47	3.09	
6. Aşama	F	A Matrisi				W Vektörü			
		C1 C2 C3				D Vektörü			E Vektörü
		C1	1.00	0.50	0.11	0.08	0.23	3.01	
		C2	2.00	1.00	0.13	0.12	0.37	3.02	
		C3	9.00	8.00	1.00	0.80	2.47	3.09	
6. Aşama	G	A Matrisi				W Vektörü			
		C1 C2 C3				D Vektörü			E Vektörü
		C1	1.00	0.50	0.11	0.08	0.23	3.01	
		C2	2.00	1.00	0.13	0.12	0.37	3.02	
		C3	9.00	8.00	1.00	0.80	2.47	3.09	

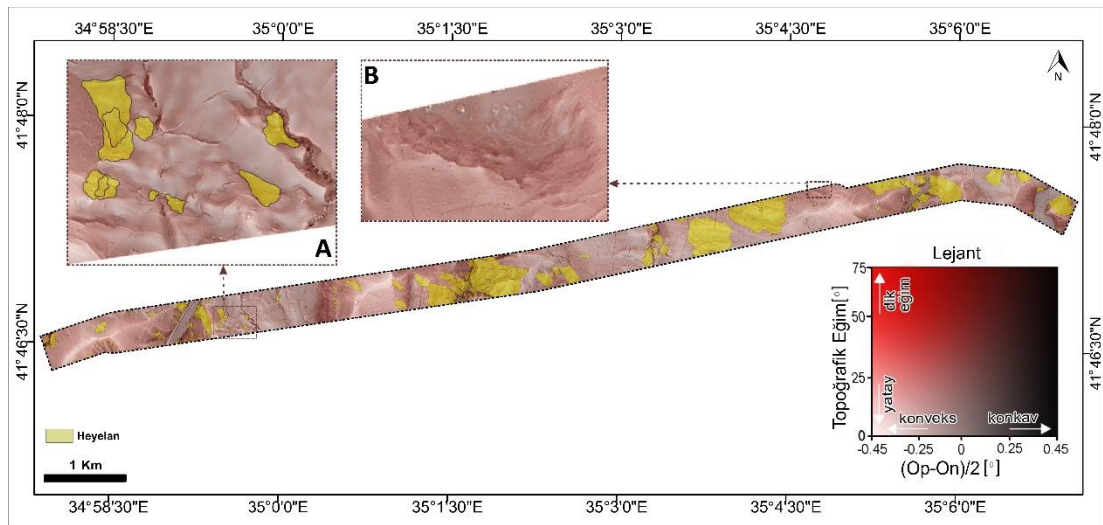
Şekil 3.7 : M-AHP yöntemi ile aktivite durumu değerlendirilmesinde uygulanan işlem adımları. Harfler ve numaralar sıralamada işlem önceliğini yansıtmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Koridor Haritalama

Hava LiDAR yönteminin sağladığı yüksek hassasiyetli mekânsal çözünürlük, heyelan tanımlama ve haritalama kapsamında, daha önce yapılan birçok çalışmada ispatlanmıştır (örn, Gorum, 2019). Özellikle Enerji Nakil Hatları gibi planlama ve projelendirme esnasında yüksek hassasiyetli mekânsal çözünürlük gerektiren mühendislik yapılarında, zeminin hassas bir şekilde tanımlanabilmesi yüksek önem arz etmektedir. Bu kapsamda çalışma alanının SYM, LiDAR verileri kullanılarak üretilmiştir.

Hattın tesislendirileceği koridorda ölçüm yapılan alanın sabit bir koridor şeklinde olmasının, hattın jeomorfolojik tehlikelerden etkilenme derecelerinin hesaplanmasında en önemli kısıtlayıcı faktör olduğu tespit edilmiştir. Sabit koridor görüntü devamlılığını kısıtlaması sonucu, morfolojik delilleri bir heyelanın birikim (Şekil 4.1A) ya da kaynak (Şekil 4.1B) alanının bir bütün olarak belirteçlerinin görülebilmesi nedeniyle haritalama için değerlendirmelerin yapılmasını engellemektedir.



Şekil 4.1 : Koridor haritalarında devamlılığı gözlemlenemeyen muhtemel heyelan birikim (A) ve kaynak (B) alanları.

Çalışma alanı içerisinde kaynak veya birikim alanı olan; ancak verinin eksik olması nedeniyle haritalanamayan heyelanlar mevcuttur. Bu heyelanlar haritalama ve analiz dışında tutulmuştur.

Heyelanların bütünsel bir biçimde analiz edilememesi çalışma alanını kapsayan koridor haritasının önemli bir eksikliği olarak tespit edilmiştir. Bu durum aynı zamanda hattı dışardan tehdit eden heyelanların etki mesafelerinin anlaşılamamasına, dolayısıyla değerlendirmelerin dar bir koridorla limitli olmasına yol açmaktadır.

Zaman-maliyet açısından dar bir alandan toplanan LiDAR verilerinin heyelan boyut ve etki mesafeleri düşünüldüğünde en azından hat genişliklerinin yamaç uzunlukları dikkate alınarak yapılması değerlendirmelerde olası jeomorfolojik tehlikenin güvenilirliğini arttıracaktır.

4.2 Heyelan Envanteri

Çalışma alanında toplamada 208 adet heyelan haritalanmıştır (Şekil 4.2A). Bu aşamada SYM verilerinden üretilen RRIM haritaları heyelanlara ait morfolojik deliller hassas bir şekilde gözlemlenebilmesine olanak sağlamıştır. Bu haritalama yöntemi sayesinde hem morfolojik üniteler hem de heyelan envanterinde yer alan öz nitelik bilgileri daha hassas bir şekilde hesaplanarak, kaydedilebilmiştir.

140 adet kayma, 43 adet kayma bileşenli akma ve 25 adet akma tipi heyelan haritalanan (Şekil 4.2B) çalışma alanında, heyelan sınıflamasında Cruden ve Varnes (1996) tarafından önerilen hareketin tipine göre sınıflama baz alınmıştır.

Heyelan derinliklerinin hesaplanmasında Burns ve Madin (2009) tarafından önerilen protokol baz alınarak 1mx1m çözünürlüğe sahip SYM üzerinden heyelan aynası yükselti farkları ve heyelana komşu deformasyon gelişmemiş yamacın ortalama eğimi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında toplamda 130 adet sığ, 78 adet ise derin heyelan haritalanmıştır (Şekil 4.2C). Derinlik hesaplaması sonucunda en derin (52 m) ve en sığ (80 cm) kayma düzlemi, kayma tipindeki iki heyelanda tespit edilmiştir. Alansal açıdan en büyük yüzey alanına sahip heyelanın 0.2 km² ile kayma tipinde, en küçük heyelanın ise 64 m² ile akma tipinde olduğu tespit edilmiştir.

Heyelanların yoğunlaştığı alanlar özellikle çalışma alanı içerisindeki vadi yamaçlarıdır. Özellikle bu alanlardaki yüksek eğim ve topoğrafik rölyef değerleri bu dağılım deseni üzerinde etkilidir.

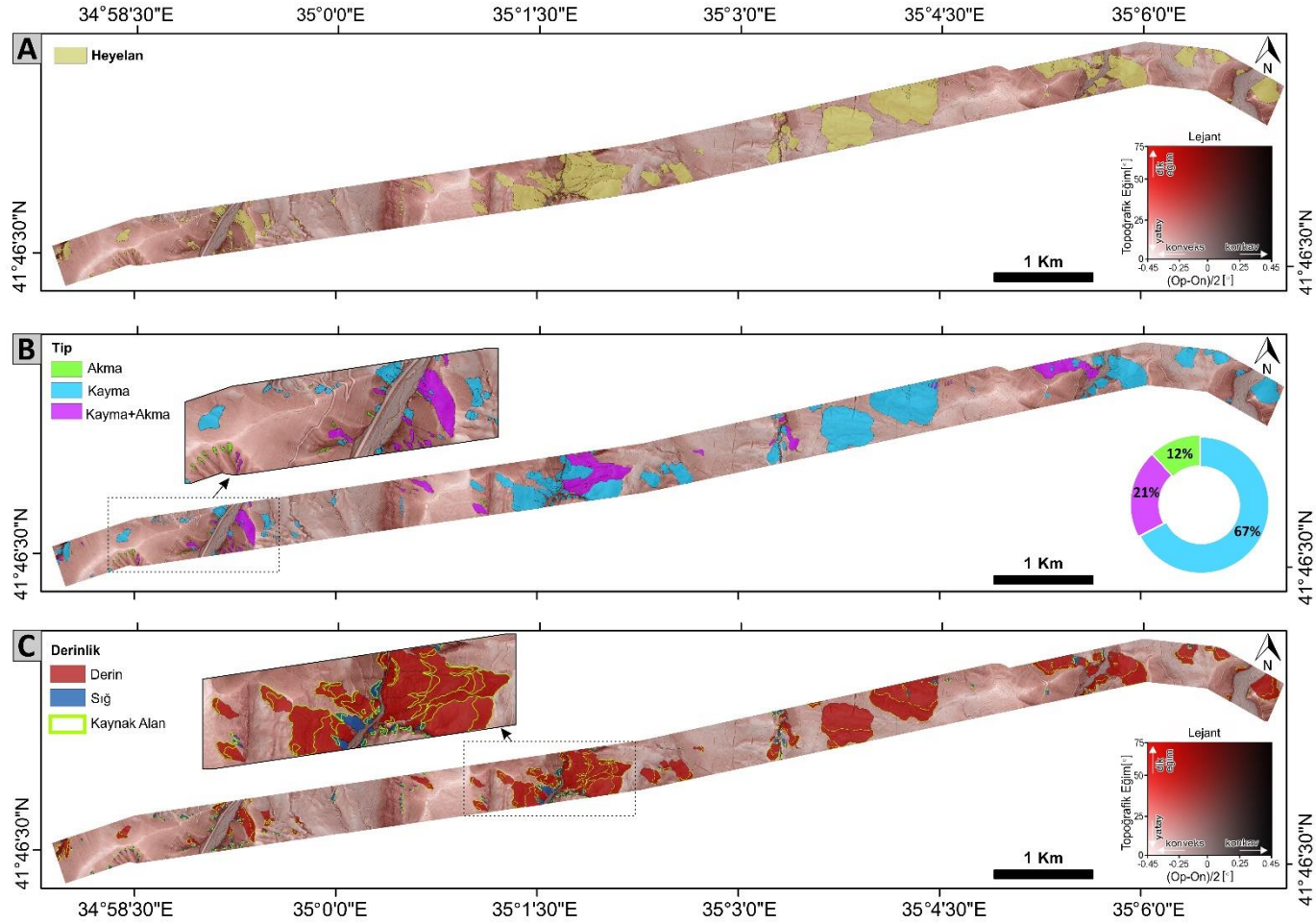
Çalışma alanı içerisinde yer alan derin heyelanların büyük çoğunluğu yine aynı şekilde akarsu vadi yamaçlarında gelişmişlerdir. Derin heyelanlar ve heyelan yüzey alanı büyüklüğü çalışma alanı için genel olarak doğru orantılı bir dağılışı göstermektedir.

Çalışma alanı içerisindeki heyelanların yaklaşık %87'lik bir bölümü yoğun bitki örtüsü altında gelişmiştir. Bu dağılımda derin heyelanların (>4m) %82'si sığ heyelanların (<4m) ise %90'lık bölümü yoğun bitki örtüsü altında geliştiği gözlemlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde toplam yüzey alanı olarak en büyük alan kaplayan heyelan tipi, 1,14 km² toplam yüzey alanı ile kaymalar, ikinci olarak 0,31 km² ile kayma bileşenli akmalar ve en küçük toplam yüzey alanı ise 0,01 km²'lik toplam yüzey alanıyla akmalara aittir.

Alansal olarak büyük heyelanların içerisinde ikincil olarak gelişmiş görece olarak daha sığ hareketler gözlemlenmektedir (Şekil 4.2C). Bu tip ikincil gelişen hareketlere özellikle vadi tabanlarına yakın birikim zonlarında ve özellikle heyelanın topuk kesiminde rastlanmaktadır. Bu hareket genellikle topuk erozyonu sonucu devamlı aktivite kazanımı ile yakından ilişkilidir.

Çalışma alanındaki heyelan tip desenindeki hâkim hareket kayma tipindeki heyelanlardır. Akma tipindeki hareketler zemin malzemesindeki su içeriğiyle ilişkili olarak genellikle kanal sistemlerinin geliştiği alanlarla örtüşmektedirler (Şekil 4.2B).



Şekil 4.2 : Çalışma alanının LiDAR tabanlı heyelan envanteri. Haritalanan heyelanların (A) tip (B) ve derinlik (C) bilgileri. Heyelanların tipine göre sayı yüzdesi halka grafiği şeklinde gösterilmiştir, buradaki renkler heyelan tip bilgisindeki renklerle aynıdır (B).

4.3 Güvenli Yanaşma Zonu

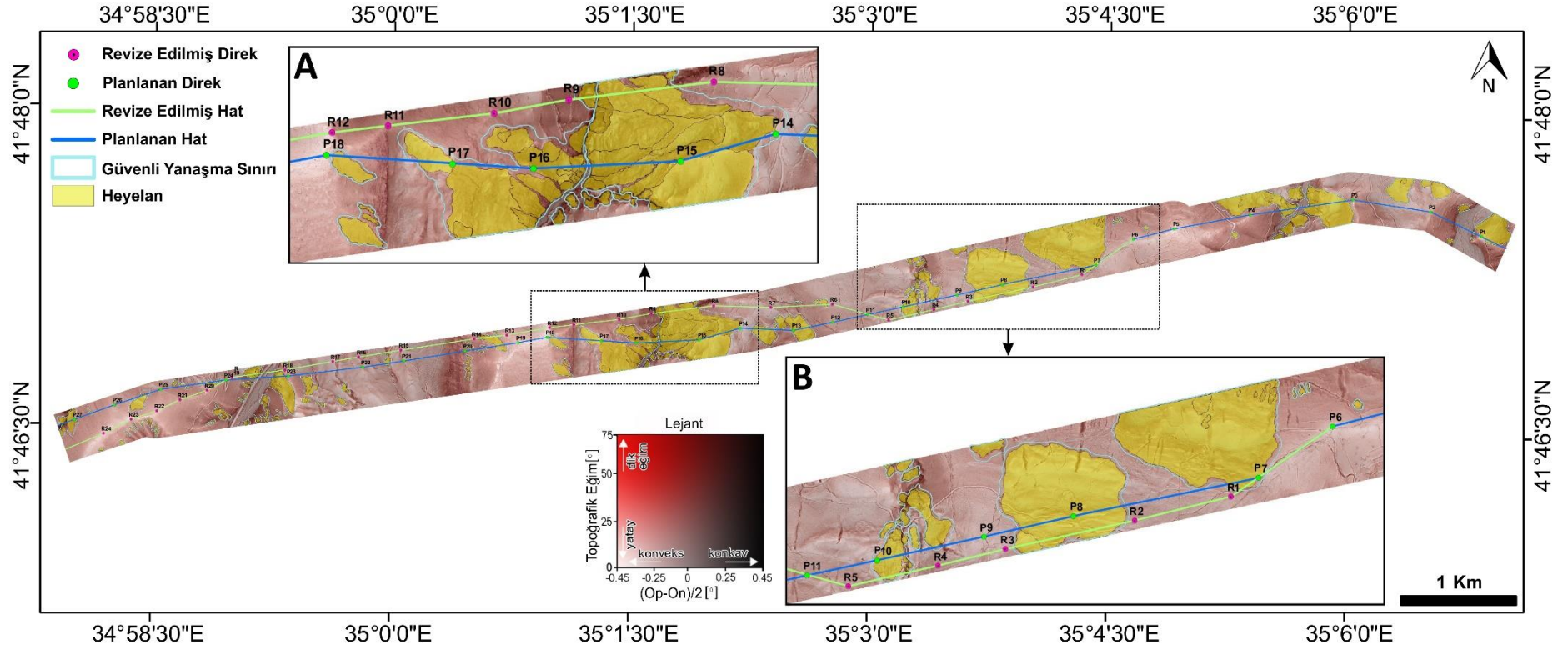
Elektrik İletim Hatlarının ana bileşeni olan taşıyıcı direklerin özellikle 26 derecelik iç sürtünme açısının yatayda denk geldiğı alan içerisinde olan direklerin, heyelanın geriye ve kanatlara doğru ilerlemesine bağılı olarak temelinde gelişebilecek deformasyonların önüne geçilmiştir.

Heyelan yarası yükseklikleri her bir heyelan için hesaplanmış ve yatayda denk geldiğı iki katı mesafe içerisinde bulunan direklerin lokasyonları revize edilmiştir (Şekil 4.3A-B).

Çalışma alanında toplamda 0,31 km² güvenli yanaşma zonu haritalanmıştır. Güvenli yanaşma sınırları, heyelan aktivitesinin düşük olması, heyelana komşu alanlarda yüzey erozyonuna bağılı kanal sistemlerinin gelişim yönü ve çatlak sistemlerine bağılı olarak revize edilmiştir.

Güvenli yanaşma zonlarının tanımlanması ile özellikle gelecekte heyelan aktivitesinin dağılımı bakımından hattaki taşıyıcı direkleri deformasyon zonu dışında tutarak, oluşabilecek olası tehlikeler en aza indirgenmeye çalışılmıştır.

Aktivite durumuna göre gerileyen (ing. retrogressive), kanatlara doğru genişleyen (ing. enlarging), veya ilerleyen (ing. advancing) tipteki heyelanların daha güvenilir olarak değerlendirilmesinde, aktivitenin dağılımı zamana göre değıştiğı için, en az iki dönemi kapsayacak LiDAR verilerine ihtiyaç vardır.



Şekil 4.3 : Güvenli yanaşma zonları ve heyelanlardan etkilenebilecek direkler (A-B).

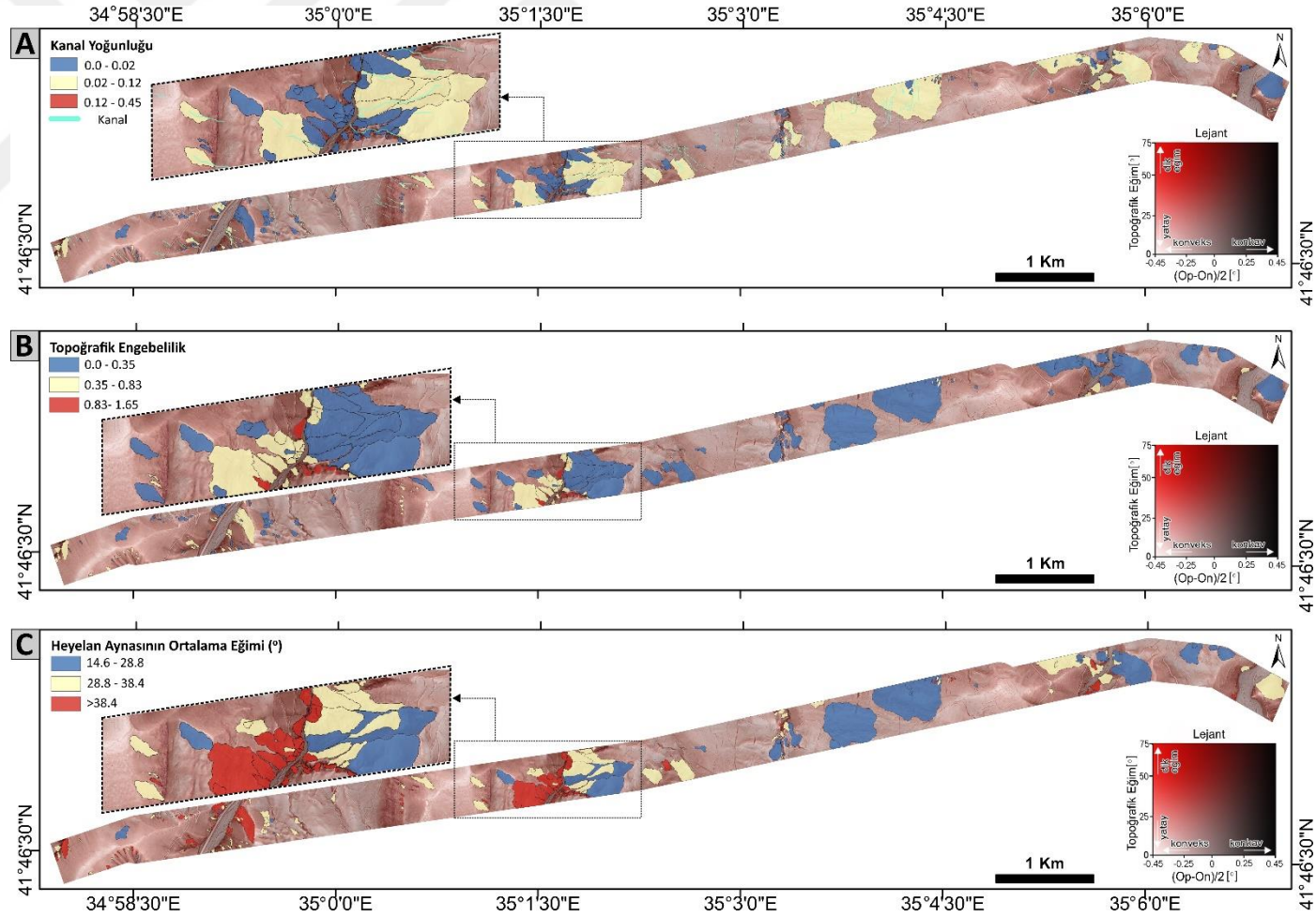
4.4 Aktivite Durumu ve Jeomorfolojik Görelî Tehlike Değerlendirmesi

Çalışma alanındaki heyelanlara ait aktivite durumlarının hesaplanmasında kanal yoğunluğu, Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI) ve heyelan aynasının ortalama eğimi parametreleri kullanılmıştır. Heyelanların tamamı aynı jeolojik birim üzerinde geliştiği için, çalışma alanının jeolojisi ve kayaç yapısı analize dahil edilmemiştir.

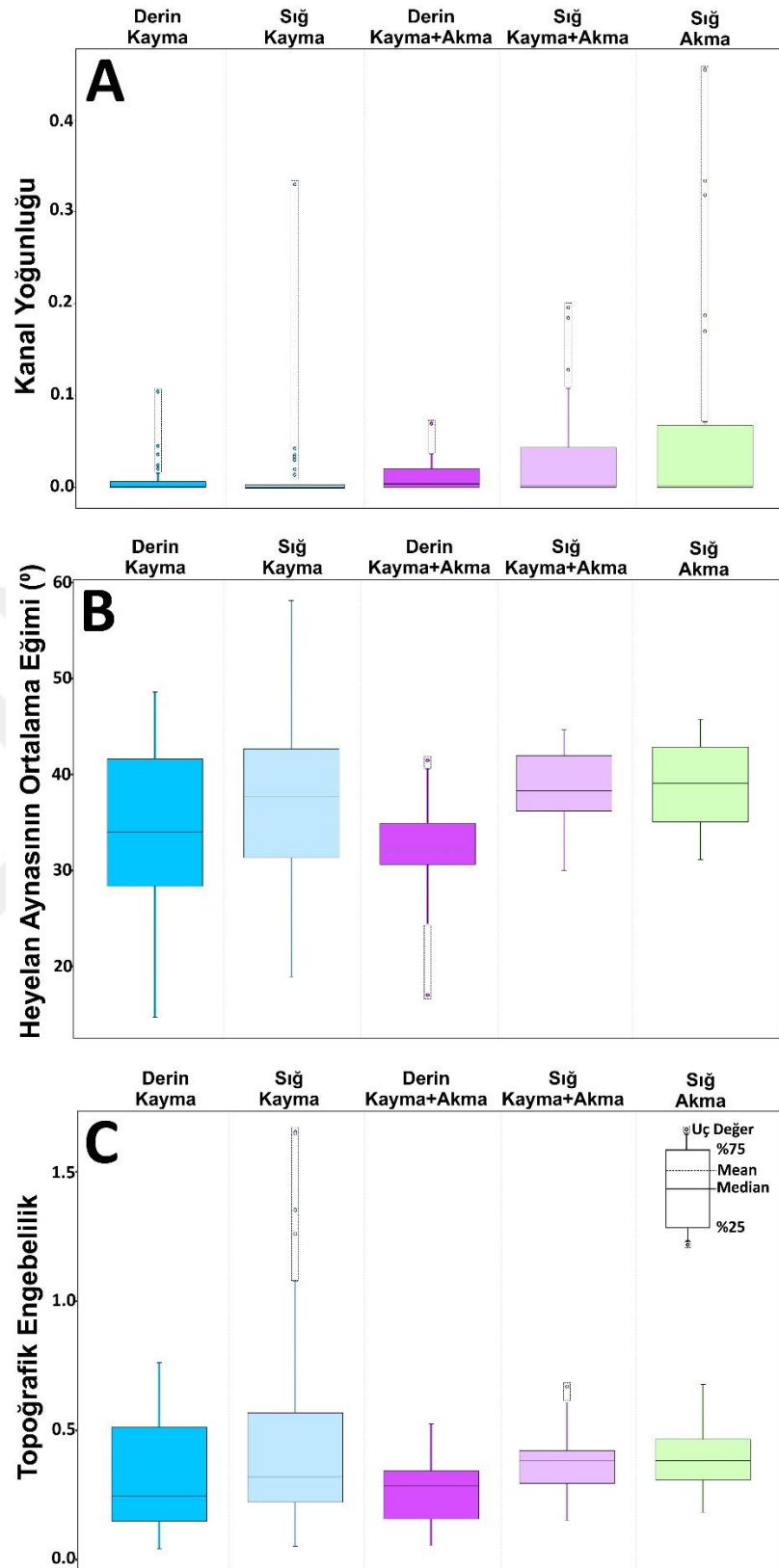
Kanal yoğunluğu özellikle çalışma alanının doğu ve orta kesimlerinde gelişmiş olan derin kaymalarda yüksek çıkmıştır. Bu heyelanların kanal sistemlerinin yerleşmesine olanak tanıyacak sürede aktivite kazanmadıkları sonucuna varılmıştır. Çalışma alanındaki 148 heyelanda kanal yoğunluğu düşük (0,0- 0,02), 51 heyelanda orta (0,02- 0,12) ve 9 heyelanda ise yüksek (0,12- 0,45) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4A). Çalışma kapsamında heyelanlar içerisinde gelişen toplamda yaklaşık 9,4 km uzunluğunda kanal tespit edilmiştir. Kanal yoğunluğu heyelanın tipine bağlı olarak da değişiklik gösterir, ancak burada heyelanın yüzey alanı ve içerisinde gelişen kanalın birbirine oranı küçük heyelanlarda yüksek değerlerin çıkmasına neden olabilmektedir (Şekil 4.5A). Bu bakımdan parametre sınıflandırmasında bu faktörler göz önüne alınarak derecelendirme yapılmıştır.

Diğer bir parametre olan Topoğrafik Engebelilik İndeksi (TRI) değerleri özellikle vadi yamaçlarındaki alansal olarak büyük heyelanların içerisinde gelişen ikincil heyelanlarda yüksek ve orta değerler gösterdiği gözlemlenmektedir. Çalışma alanının özellikle derin kayma ve kayma bileşenli akmalarda engebelilik değerleri düşük, bunun yanında sığ heyelanlarda bu değer orta ve yüksektir (Şekil 4.5C). Çalışma alanında 115 heyelanda düşük (0- 0,35), 84 heyelanda orta (0,35- 0,83) ve 9 heyelanda ise yüksek (0,83- 1,65) topoğrafik engebelilik oranları tespit edilmiştir (Şekil 4.4B).

Aktivite durumu hesaplamasındaki son parametresi olan heyelan aynasının ortalama eğim değerlerinin özellik çalışma alanı içerisindeki akarsu vadi yamaçlarında gelişen heyelanlarda yüksek değerlerle temsil edilmektedir (Şekil 4.4C). Özellikle derin ve sığ kaymalarda heyelan aynasının ortalama eğim değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Sığ akmalarda gözlemlenen yüksek heyelan aynası eğim değerleri kaynak alanın küçük ve yeni olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.5B). Çalışma alanında 38 heyelanda düşük (14,6- 28,8), 84 heyelanda orta (28,8- 38,4) ve 88 heyelanda ise yüksek (>38,4) heyelan aynasının ortalama eğim değerleri tespit edilmiştir (Şekil 4.4C).



Şekil 4.4 : Heyelan aktivite durum hesaplamasında kullanılan parametreler. Kanal yoğunluğu (A), topoğrafik engebelilik (B) ve heyelan aynasının ortalama eğim değerlerinin (C) düşük, orta ve yüksek gruplarının renkleri karşılaştırılma yapılabilmesi için aynı verilmiştir.



Şekil 4.5 : Heyelan tip ve derinliklerine göre kanal yoğunluğu (A), heyelan aynasının ortalama eğimi (B) ve topoğrafik engebelilik (C) parametrelerinin ortalama değerlerinin dağılımı.

Bu üç parametre M-AHP yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve heyelan aktivite durumları hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki heyelanların genel olarak aktivitesi yüksektir orta aktivite durumuna sahip heyelanlar genellikle çalışma alanın orta ve doğu kesiminde yoğunlaşmaktadırlar. Aktivite durum modeli sonuçlarına göre çalışma alanı içerisindeki 13 heyelan düşük, 26 heyelan orta, 169 heyelan ise yüksek aktivite bilgisi içerdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.6A).

Heyelanlara ait aktivite durumları tespit edildikten sonra elektrik iletim hattı güzergahındaki heyelanların jeomorfolojik tehlikelerinin hesaplanması ve buna bağlı hat veya direk lokasyonlarının değiştirilmesi adımına geçilmiştir.

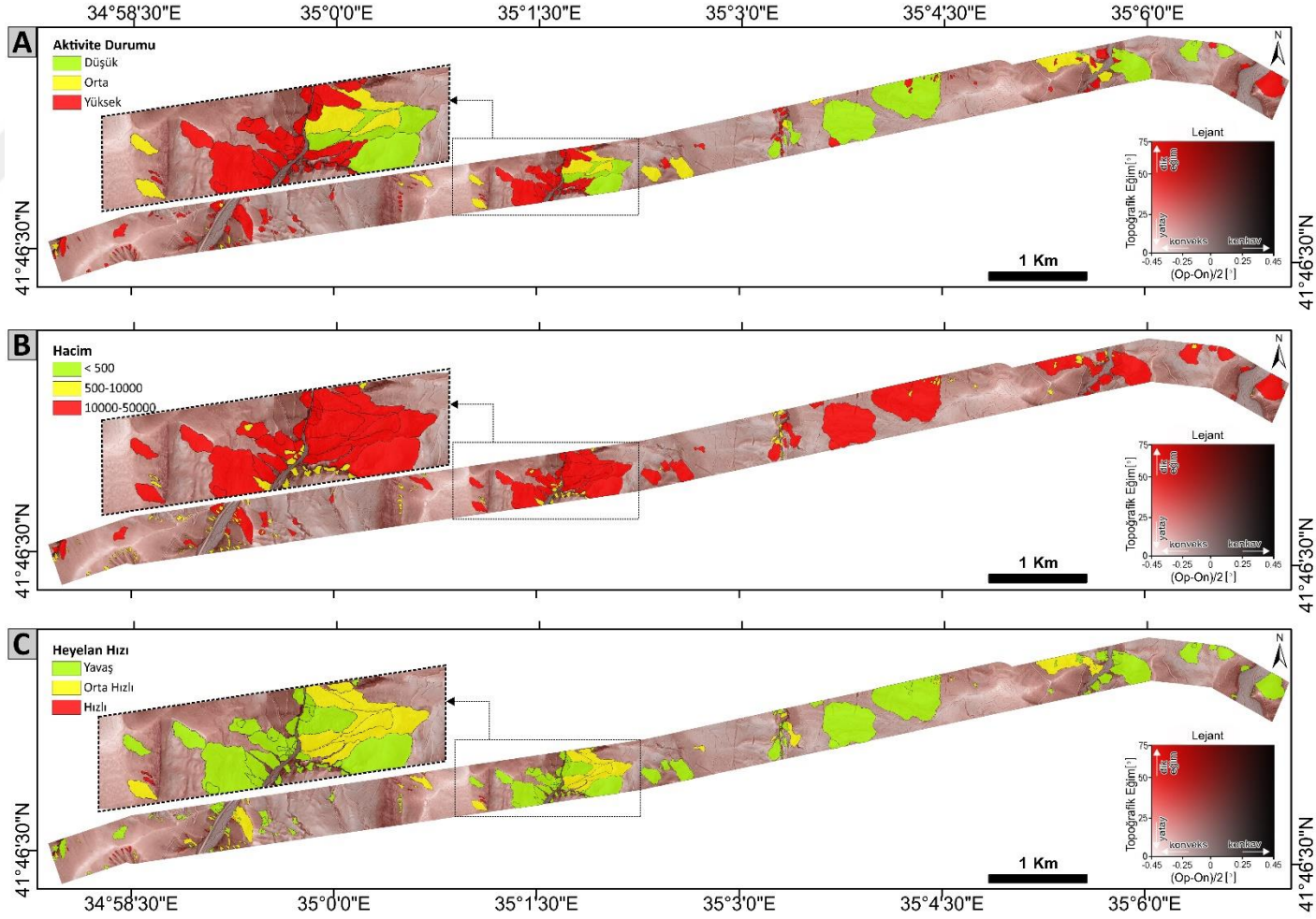
Bu aşamada hesaplanan aktivite durumu ile birlikte heyelanlara ait hacim ve hız bilgisi üç ayrı parametre olarak M-AHP yöntemi ile analiz edilmiş ve bunun sonucunda elde edilen karar noktası dağılımlarına göre jeomorfolojik tehlike değerlendirmesi üretilmiştir.

Heyelanlara ait hacim ve hız sınıflamasında Cardinali vd., (2002) tarafından önerilen heyelan hacim ve hız sınıflaması, çalışma alanındaki heyelan tiplerine ve öznelilik bilgilerine uyarlanmıştır. Burada çalışma alanı içerisinde yer almayan düşme sınıfı analizden çıkarılmış onun yerine çalışma alanına yaygın olarak gözlemlenen kayma bileşenli akma tipindeki hareket analize dahil edilmiştir. Kayma bileşenli akma tipinin değerleri her iki hareket sınıfını içermesi bakımından iki sınıfa ait ortalama değerleri olarak analize dahil edilmiştir (Tablo 4.1).

Çizelge 4.1 : Heyelan tiplerine göre hız ve hacim bilgileri (Cardinali vd., 2002'den uyarlanmıştır).

Hacim (m ³)	Hız		
	Hızlı Heyelan (Akma)	Orta Hızlı Heyelan (Kayma+Akma)	Yavaş Heyelan (Kayma)
< 500	Yavaş	Yavaş	
500-10000	Orta	Orta	Yavaş
10000-50000	Yüksek	Yüksek	Orta

Çalışma alanı içerisindeki heyelanların 21'i düşük (<500 m³), 117'si orta (500-10000 m³) ve 70'i yüksek (10000-50000 m³) hacim grubu içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.6B). Yine 140 heyelan yavaş, 43 heyelan orta hızlı ve 25 heyelan yüksek hız grubu içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.6C). Hacim ve hız dağılımına bakıldığında özellikle derim kaymaların yüksek hacim grubunun çoğunluğunu temsil ettiği, sık akmaların ise yüksek hız grubunun çoğunluğunu temsil ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.6 : Heyelan jeorfolojik tehlike değerlendirmesinin hesaplamasında kullanılan parametreler. Aktivite durumu (A), hacim (B) ve hız (C) parametrelerinin düşük, orta ve yüksek gruplarının renkleri karşılaştırılma yapılabilmesi için aynı verilmiştir.

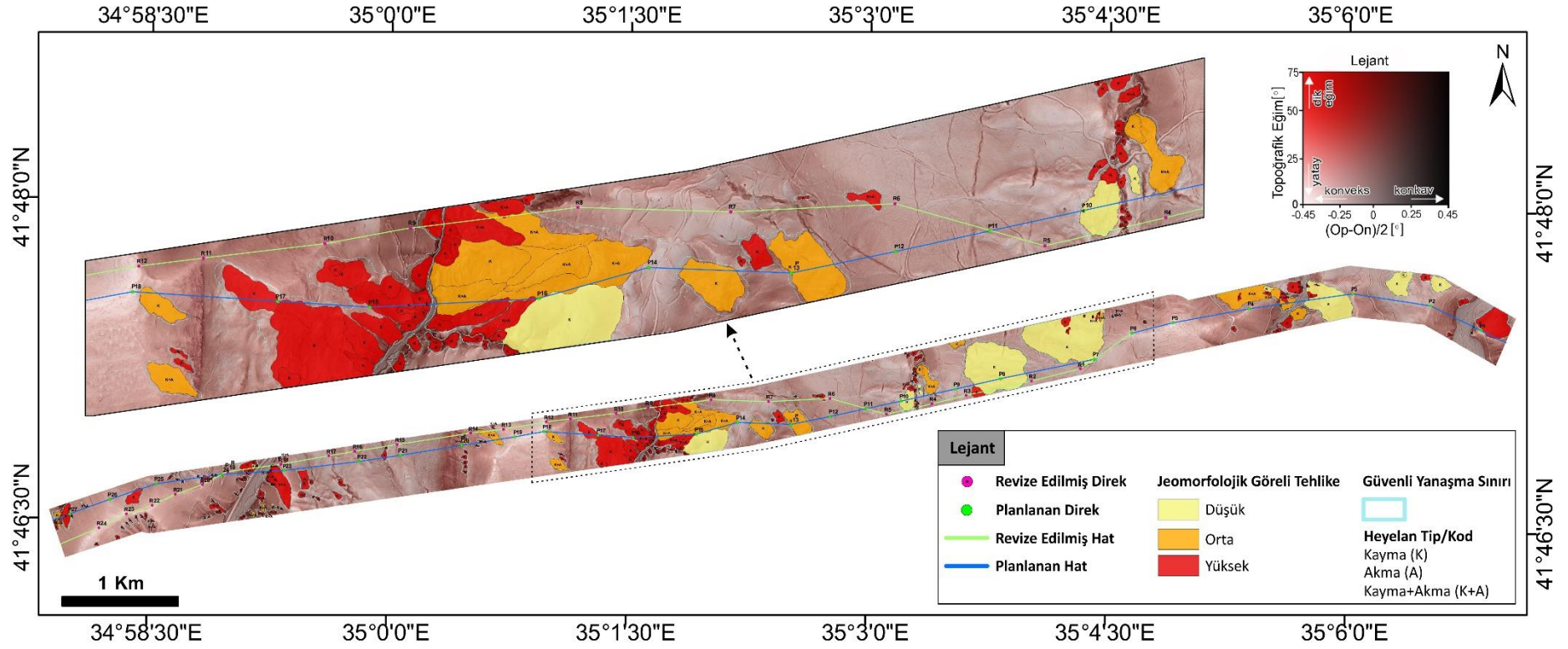
Bu üç parametre M-AHP yöntemi ile analiz edilmiş ve bunun sonucunda jeomorfolojik görelî tehlike altlığı üretilmiştir. Görelî tehlike değerdendirmesinde M-AHP deki karar noktası dağılımında düşüğe yakın orta sınıfında değerdendirilen 10 adet heyelan da düşük sınıfı içersine dahil edilmiştir. Çalışma alanı içersindeki heyelanların 12'si düşük, 23'ü orta ve 173'ü yüksek tehlike grubu içersinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.7.).

Jeomorfolojik görelî tehlike değerdendirmesi ve güvenli yanaşma sınırları baz alınarak Enerji Nakil Hattında yapılması gereken revizeleri gözlemleyebilmek adına çalışma kapsamında örnek bir iletim hattı ve yapılan analizlere sonucu revize edilmiş iletim hattı planı oluşturulmuştur. Bu aşamada iletim hatlarının ve direklerinin lokasyonlarının belirlenmesinde iki direk arası maksimum mesafe, direk tipi, iletken uzunluğu ve iletken sehim bilgisi gibi Elektrik İletim Hattı projelendirmesinde yer alan teknik detaylar örnek hat planlamasına dahil edilmemiştir. Örnek planlama yalnızca iletim hattının ve taşıyıcı direklerin heyelanlardan etkilenmemeleri için hangi uygun lokasyonların seçilmesi gerektiği, amacıyla oluşturulmuştur.

Bu örnekte planlanan hat içersinde düşük tehlike grubunda yer alan heyelanlar içersine denk gelen P7, P8, P10 ve P16 numaralı direklerin lokasyonlarının değıştirilmesi tavsiye edilmektedir.

Planlanan hatta orta ve yüksek tehlike grupları içersinde yer alan, aynı zamanda bu heyelanların güvenli yaklaşım mesafeleri içinde kalan P13, P14, P15, P17 ve P27 numaralı direklerin lokasyonlarının kesinlikle değıştirilmesi önerilmektedir.

Bu kapsamda planlanan hattaki dokuz taşıyıcı direğin heyelan ve güvenli yanaşma zonu içersinde yer aldığı tespit edilmiş ve direk lokasyonlarının değıştirilmesine bağı olarak hattın güzergâhı revize edilmiştir (Şekil 4.7). Bu kapsamda hattın heyelanlardan etkilenmesi ve buna bağı hat güvenliğinin tehlikeye maruz kalma olasılığı minimize edilmiştir.



Şekil 4.7 : Güvenli yanaşma zonları ve jeomorfolojik göreli tehlike sınıflaması sonucu revize edilen hat güzergahı ve direk lokasyonları.



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması Enerji Nakil Hatlarının güzergahlarının belirlenmesinde; uzman görüşüne bağlı yöntemlere dayanan heyelan tehlike değerlendirmelerine, kural temelli bir yaklaşım geliştirilmesini sağlamıştır. Bu kapsamda Enerji Nakil Hatlarının güzergahlarında gelişen heyelanlara bağlı oluşabilecek tehlikelerin azaltılmasına, hat güvenliği ve sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanmasına katkıda bulunulmuştur.

Çalışma kapsamında LiDAR verileri kaynaklı SYM türevleri kullanılarak hassas bir şekilde haritalanan heyelan ve güvenli yavaşma bölgeleri, M-AHP yöntemi ile uzman görüşünün yarı-kantitatif bir temelde değerlendirildiği aktivite durumu ve jeomorfolojik tehlike değerlendirmesi gibi altlıklar kullanılarak, Enerji Nakil Hattı projelerinde yararlanılması için jeomorfolojik değerlendirmeleri temel alan ve ölçülebilir bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Heyelan envanterlerinde ortalama 12 km'lik bir uzunluk ve 500 m'lik bir koridor genişliği dahilinde haritalanan 208 adet heyelan, Enerji Nakil Hattı güzergahlarında gelişen heyelan sayısı bakımından da Türkiye'nin heyelan gerçeğini bir kez daha ortaya koymuştur.

Özellikle mühendislik yapılarının planlamasında ve tesislendirilmesinde kullanılması beklenen hassas mekânsal çözünürlük anlamında LiDAR verilerinin çok önemli bir haritalama altlığı sağladığı tekrardan kanıtlanmıştır. Uzman görüşü, LiDAR temelli haritalama ve analiz çalışmalarının, heyelan varlığının bilinmesi ve buna bağlı tehlike değerlendirmesinde yüzey süreçlerinin bir belirteç olarak, görelî heyelan tehlike değerlendirmesindeki önemi ortaya konulmuştur. Özellikle bitki örtüsü varlığının yoğun olduğu alanlarda sık heyelanların haritalanmasının güçlüğü, bütüncül bir değerlendirme yapılabilmesini ve buna bağlı önlemlerin alınabilmesine yönelik eksiklikler tez çalışması ile giderilmeye çalışılmıştır.

Enerji nakil hattı güzergahları yüksek oranda arz talep dengesine dayandığı için bu noktada hattın belirli losyonlardan geçmesi zorunluluk arz etmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan karar destek sistemi ile hattın tesisinin planlandığı

güzergahtaki deformasyon zonlarının dışında kalması sağlanarak, heyelan açısından maksimum hat güvenliği sağlanmış ve sürdürülebilir kullanım desteklenmiştir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. ve iştirak firması olan ELTEM-TEK Elektrik Tesisleri Mühendislik Müteahhitlik Danışmanlık ve Ticaret A.Ş. tarafından İstanbul Teknik Üniversitesi ortaklığında geliştirilen proje kapsamında oluşturulan bu tez ile işletmede olan veya planlanan Enerji Nakil Hatlarında gelişen heyelan tehlikesinin kural temelli bir karar destek sistemi ile iletim hattı tesislendirme faaliyetlerine entegre edilmesi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, tesislendirme ve bakım-onarım çalışmaları kapsamında Enerji Nakil Hatlarının güzergâhlarında gelişen heyelan tehlikesi analiz çalışmaları, tez kapsamında kural temelli bir haritalama ve karar destek sistemi ile desteklenerek, bu alanda öncü bir çalışma olması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgun, A., Sezer, E. A., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Pradhan, B. (2012).** An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences*, **38(1)**, 23-34.
- Bernat Gazibara, S., Krkač, M., & Mihalić Arbanas, S. (2019).** Landslide inventory mapping using LiDAR data in the City of Zagreb (Croatia). *Journal of Maps*, **15(2)**, 773-779.
- Blake, E. S., Kimberlain, T. B., Berg, R. J., Cangialosi, J. P., & Beven, J. L. (2013).** *Tropical cyclone report: Hurricane sandy*. National Hurricane Center, **12**, 1-10.
- Burns, S. F., Burns, W. J., James, D. H., & Hinkle, J. C. (1998).** Landslides in the Portland, Oregon metropolitan area resulting from the storm of February 1996: Inventory map, database and evaluation. *Report prepared as fulfillment of Metro contract*, 905828.
- Burns, W. J., & Madin, I. (2009).** Protocol for inventory mapping of landslide deposits from light detection and ranging (LiDAR) imagery.
- Burns, W. J., Mickelson, K. A., & Madin, I. (2016).** Landslide susceptibility overview map of Oregon. Oregon Department of Geology and Mineral Industries.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., ... & Emre, Ö. (2013).** Türkiye Heyelan Veri Tabanı. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*.
- Cardinali, M., Ardizzone, F., Galli, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2000, January).** Landslides triggered by rapid snow melting: the December 1996–January 1997 event in Central Italy. *In Proceedings 1st Plinius conference on Mediterranean storms* (pp. 439-448). Bios: Cosenza.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., ... & Salvati, P. (2002).** A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **2(1/2)**, 57-72.
- Chen, W., Li, X., Wang, Y., Chen, G., & Liu, S. (2014).** Forested landslide detection using LiDAR data and the random forest algorithm: A case study of the Three Gorges, China. *Remote sensing of environment*, **152**, 291-301.
- Chiba, T., Kaneta, S. I., & Suzuki, Y. (2008).** Red relief image map: new visualization method for three dimensional data. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, **37(B2)**, 1071-1076.

- CHIBA, T., SUZUKI, Y., & HIRAMATSU, T.** (2007). Digital terrain representation methods and red relief image map, a new visualization approach. *Map, Journal of the Japan Cartographers Association*, **45(1)**, 27-36.
- Comert, R., Avdan, U., Gorum, T., & Nefeslioglu, H. A.** (2019). Mapping of shallow landslides with object-based image analysis from unmanned aerial vehicle data. *Engineering Geology*, **260**, 105264.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., ... & Böhner, J.** (2015). System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. *Geoscientific Model Development*, **8(7)**, 1991-2007.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J.:** (1996). "Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes". *Transportation research board special report* (247).
- Cruden, D. M., Varnes, D. J., & Turner, A. K.** (1996). Landslides: investigation and mitigation.
- DIKAU, R. A.** (1996). *Landslide recognition: identification, movement and causes* (Vol. 1). Wiley-Blackwell.
- Dong, X., Shinozuka, M., & Chang, S.** (2004, August). Utility power network systems. In *Proc. of 13th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Eidinger, J.** (2009). Wenchuan earthquake impact to power systems. In *TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment* (pp. 1-12).
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F.** (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, **162**, 227-252.
- Görüm, T.** (2016). 23 Ekim 2011 Van depreminin tetiklediği heyelanlar. *Türk Coğrafya Dergisi*, **(66)**, 29-36.
- Görüm, T.** (2019). Landslide recognition and mapping in a mixed forest environment from airborne LiDAR data. *Engineering Geology*, **258**, 105155.
- Gorum, T., Fan, X., van Westen, C. J., Huang, R. Q., Xu, Q., Tang, C., & Wang, G.** (2011). Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake. *Geomorphology*, **133(3-4)**, 152-167.
- Gorum, T., van Westen, C. J., Korup, O., van der Meijde, M., Fan, X., & van der Meer, F. D.** (2013). Complex rupture mechanism and topography control symmetry of mass-wasting pattern, 2010 Haiti earthquake. *Geomorphology*, **184**, 127-138.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., & Valigi, D.** (2009). Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, **279(3-4)**, 222-229.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., & Reichenbach, P.** (1994). The AVI Project: A bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. *Environmental management*, **18(4)**, 623-633.

- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T.** (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, **112**(1-2), 42-66.
- Ibsen, M. L., & Casagli, N.** (2004). Rainfall patterns and related landslide incidence in the Porretta-Vergato region, Italy. *Landslides*, **1**(2), 143-150.
- IEA** (2020), World Energy Outlook 2020, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/557a761b-en>.
- Jaboyedoff, M., Michoud, C., Derron, M. H., Voumard, J., Leibundgut, G., Sudmeier-Rieux, K., ... & Leroi, E.** (2018). Human-induced landslides: toward the analysis of anthropogenic changes of the slope environment. In Landslides and engineered slopes. *Experience, Theory and Practice* (pp. 217-232). CRC Press.
- Luo, G., Zhong, Y., & Yang, Y.** (2020). Failure Mechanism and Mitigation Measures of the G1002 Electricity Pylon Landslide at the Jinping I Hydropower Station. *Advances in Civil Engineering*, 2020.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü**, 2020 /<http://www.mgm.gov.tr> (erişim tarihi 10.07.21)
- Nefeslioglu, H. A., & Gorum, T.** (2020). The use of landslide hazard maps to determine mitigation priorities in a dam reservoir and its protection area. *Land Use Policy*, **91**, 104363.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., & Gorum, T.** (2011). Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoky catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, **8**(4), 459-483.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E. A., Gokceoglu, C., & Ayas, Z.** (2013). A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support systems in natural hazard assessments. *Computers & Geosciences*, **59**, 1-8.
- Niethammer, U., Rothmund, S., James, M. R., Travelletti, J., & Joswig, M.** (2010). UAV-based remote sensing of landslides. The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **38**(Part 5), 496-501.
- Petschko, H., Bell, R., & Glade, T.** (2016). Effectiveness of visually analyzing LiDAR DTM derivatives for earth and debris slide inventory mapping for statistical susceptibility modeling. *Landslides*, **13**(5), 857-872.
- Pierson, T. C., Evarts, R. C., & Bard, J. A.** (2016). Landslides in the western Columbia Gorge, Skamania County, Washington. *US Geological Survey Scientific Investigations Map*, 3358.
- Razak, K. A., Straatsma, M. W., Van Westen, C. J., Malet, J. P., & De Jong, S. M.** (2011). Airborne laser scanning of forested landslides characterization: Terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, **126**(1-2), 186-200.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R.** (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of sciences*, **5**(1-4), 23-27.
- Saaty, T. L.** (1980). The Analytical Hierarchy Process McGraw-Hill. New York.

- Sidle, R., & Ochiai, H.** (2006). Processes, prediction, and land use. Water resources monograph. *American Geophysical Union*, Washington.
- Slaughter, S. L., Burns, W. J., Mickelson, K. A., Jacobacci, K. E., Biel, A., & Contreras, T. A.** (2017). Protocol for landslide inventory mapping from lidar data in Washington State. *Washington Geological Survey Bulletin*, **82**, 1-27.
- Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M. J., García, M. A. M., & Jiménez-Sánchez, M.** (2017). A spatio-temporal landslide inventory for the NW of Spain: BAPA database. *Geomorphology*, **293**, 11-23.
- Wieczorek, G. F.** (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 4- Landslide triggering mechanisms. *Transportation Research Board Special Report*, (247).
- Xie, M., Zhao, W., Ju, N., He, C., Huang, H., & Cui, Q.** (2020). Landslide evolution assessment based on InSAR and real-time monitoring of a large reactivated landslide, Wenchuan, China. *Engineering Geology*, **277**, 105781.
- Yokoyama, R., Shirasawa, M., & Pike, R. J.** (2002). Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, **68(3)**, 257-266.
- Zhang, Y., Zhu, S., Tan, J., Li, L., & Yin, X.** (2020). The influence of water level fluctuation on the stability of landslide in the Three Gorges Reservoir. *Arabian Journal of Geosciences*, **13(17)**, 1-10.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Abdüssamet YILMAZ

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2019, İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya

Yüksek Lisans : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Katı Yer Bilimleri
Anabilim Dalı , Jeodinamik

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2020- yılı itibariyle ELTEMTEK A.Ş. bünyesinde jeomorfolog olarak
çalışmaktadır.