



**T. C.  
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ GELİŞTİRİLEN  
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KULLANICI ARAYÜZ  
PROGRAMLARIYLA İNCELENMESİ: KOYULHİSAR ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Derya Dilara KÖSE  
(20169249004)**

**Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarık TÜRK**

**SİVAS  
MAYIS 2018**

**Derya Dilara KÖSE'nin hazırladığı “HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ GELİŞTİRİLEN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KULLANICI ARAYÜZ PROGRAMLARIYLA İNCELENMESİ: KOYULHİSAR ÖRNEĞİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. Tarık TÜRK**

Cumhuriyet Üniversitesi

-----

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Orhan TATAR**

Cumhuriyet Üniversitesi

-----

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN**

Yıldız Teknik Üniversitesi

-----

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. İsmail ÇELİK**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



*Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-680 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Derya Dilara KÖSE, 2018



## ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

19.06.2018

Derya Dilara KÖSE

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başından beri bilgi ve tecrübelerinin yanı sıra manevi desteğini de benden hiçbir zaman esirgemeyen, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim ve yanında çalışmaktan onur duyduğum, değerli danışman hocam Doç. Dr. Tarık TÜRK'e,

Çalışmamın regresyon analizi ile ilgili bölümlerindeki yardımlarından dolayı İstatistikçi Selim ÇAM'a,

Manevi desteği ile bana güç veren arkadaşım Geomatik Mühendisi Mehmet Şafak Dursun'a,

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmam boyunca da en büyük destekçim olan, sabır ve yardımlarını esirgemeyen başta kıymetli annem Songül KÖSE olmak üzere babam Turgut KÖSE ve canım kardeşim Berat KÖSE'ye,

Son olarak bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan büyükbabam Zülfikar KÖSEOĞLU'na,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı M-680 nolu proje kapsamında destekleyen Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Birimi'ne teşekkür ederim.

## ÖZET

# HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ GELİŞTİRİLEN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ TABANLI KULLANICI ARAYÜZ PROGRAMLARIYLA İNCELENMESİ: KOYULHİSAR ÖRNEĞİ

**Derya Dilara KÖSE**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Tarık TÜRK**

**2018, 76+xvi sayfa**

Heyelan, büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerden birisidir. Bu nedenle, heyelan alanlarındaki duyarlılığının tespit edilerek doğal afet planlamalarının bu doğrultuda yapılması son derece önemlidir. Doğru bir planlama yapılabilmesi için, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının altlık olarak kullanılması gerekmektedir. Literatürde heyelan duyarlılık analizleri ile ilgili birçok farklı yöntem ile çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların her birinde en doğru heyelan duyarlılık haritasını üretmek amacıyla farklı yöntem ve parametreler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, seçilen çalışma alanında Frekans Oranı (FR- Frequency Ratio), Lojistik Regresyon (LR) ve Weight of Evidence (WOFE) yöntemleri ile Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi, üretilen heyelan duyarlılık haritalarına ait doğrulukların hesaplanması ve tüm bu işlemlerin tam otomatik olarak gerçekleştirilmesini sağlayan kullanıcı arayüz programlarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda ArcGIS CBS yazılımı ortamında ve Matlab programlama dili ile FR, LR ve WOFE yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık haritalarını üreten kullanıcı arayüz programları geliştirilmiştir. Heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için eğim, bakı, yükseklik, litoloji, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, bitki örtüsü için Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), arazi kullanımı ve yağış parametreleri dikkate alınmıştır. Bu amaca yönelik hedeflenen çalışmalar Koyulhisar ilçesi ve çevresinde uygulanmıştır.

Doğruluk analizleri için geliştirilen kullanıcı arayüz programları dışında Receiver Operator Characteristics (ROC) yöntemi ile de heyelan duyarlılık haritalarının doğrulukları hesaplanmıştır. FR, LR ve WOFE yöntemleri ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının, ROC yöntemi sonucu elde edilen doğruluk değerleri sırası ile %81.8, %79.9 ve %79.0 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan en önemli farkı ise, 9 parametre dikkate alınarak FR, LR ve WOFE yöntemleriyle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi ve bunun doğruluğunun geliştirilen kullanıcı arayüz programları ile otomatik olarak gerçekleştirilmesidir. Bu açıdan geliştirilmiş ilk kullanıcı arayüz programlarından biridir. Ayrıca ortaya konulan bu yöntem, dünyada herhangi bir heyelan alanında uygulanabilecek niteliğe sahiptir.

**Anahtar kelimeler:** CBS, Heyelan, Heyelan Duyarlılık Haritası, Kullanıcı Arayüz Programı, FR, LR, WOFE

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS BY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM-BASED USER INTERFACE PROGRAMS DEVELOPED: A CASE STUDY IN KOYULHİSAR CITY**

**Derya Dilara KÖSE**

**Master of Science Thesis**

**Department of Geomatics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tarık TÜRK**

**2018, 76+xvi pages**

Landslide is one of the natural disasters that causes a considerable loss of life and property. Therefore, it is extremely important to determine the susceptibility of landslide areas and to do natural disaster planning accordingly. The landslide susceptibility maps produced should be used as a base to be able to do proper planning. In the literature, various studies have been carried out with many different methods related to the landslide susceptibility analysis. Different methods and parameters have been used to produce the most accurate Landslide Susceptibility Maps in each of the studies.

In this study, it was aimed to produce Geographic Information System (GIS)-based landslide susceptibility maps by the Frequency Ratio (FR), Logistic Regression (LR) and Weight of Evidence (WOFE) methods in the selected study area, to calculate the accuracy of the produced landslide susceptibility maps and to perform all these operations fully-automatically. For this purpose, in the ArcGIS GIS software environment and the Matlab programming language by using the FR, LR and WOFE methods, user interface programs for producing landslide susceptibility maps have been developed.

Slope, aspect, elevation, lithology, distance to fault, distance to river, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), land use and rainfall parameters were taken into account to produce the landslide susceptibility maps. The targeted studies for this purpose were implemented in Koyulhisar city and its vicinity.

In addition to the user interface programs developed for accuracy analysis, the accuracy of landslide susceptibility maps was also calculated by the Receiver Operator Characteristics (ROC) method. The accuracy values obtained by the ROC method of the landslide susceptibility maps produced by FR, LR and WOFE methods are obtained 81.8%, 79.9% and 79.0% respectively. The most important difference of this study from other studies in the literature is the production of the landslide susceptibility maps with FR, LR and WOFE methods by taking into account 9 parameters and the realization of its accuracy automatically by user-interface programs developed. In terms of this, it is one of the first user interface programs developed. Consequently, this recommended method was developed in the manner that it could be applied in any landslide area in the world.

**Keywords:** GIS, Landslide, Landslide Susceptibility Map, User Interface Program, FR, LR, WOFE

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xv
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xvi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Önceki Çalışmalar.....	2
1.3. Heyelan ve Heyelan Duyarlılığı ile İlgili Kavramlar.....	8
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	10
2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri.....	11
2.2. Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Parametreler.....	13
2.3. Verilerin Elde Edilmesi ve Hazırlanması.....	15
2.3.1. Heyelan Envanteri.....	16
2.3.2. Çalışmada Kullanılan Parametreler.....	18
2.4. Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Yöntemler.....	26
2.5. Frekans Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretmek için Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programı.....	30
2.6. Weight of Evidence Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretmek için Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programı.....	35
2.7. Lojistik Regresyon Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretmek için Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programı.....	41
2.8. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Doğruluklarının Değerlendirilmesi ve Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programları.....	49
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	53
3.1. Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programları ve Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritalarının İrdelenmesi.....	53
3.1.1. Frekans Oranı Yöntemi ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası.....	54
3.1.2. Weight of Evidence Yöntemi ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası.....	57
3.1.3. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası.....	60
3.2. Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programları ile Yapılan Doğruluk Analizi Sonuçlarının İrdelenmesi.....	63

3.3. Tartışma.....	66
<b>4. SONUÇLAR .....</b>	<b>68</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>





## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Şekil 1.1</b> Heyelan ve Unsurları (AFAD, 2015).....	8
<b>Şekil 2.1</b> Çalışmada izlenen adımlar.....	10
<b>Şekil 2.2</b> Çalışma alanı. ....	12
<b>Şekil 2.3</b> Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Dağ, 2007'den uyarlanmıştır).....	13
<b>Şekil 2.4</b> Heyelan envanter haritası (MTA, 2005'den faydalanılarak hazırlanmıştır). ....	17
<b>Şekil 2.5</b> Eğim, bakı ve yükseklik parametresi haritaları. ....	20
<b>Şekil 2.6</b> Faya uzaklık (MTA 2005'den elde edilen verilerden faydalanılarak üretilmiştir), akarsuya uzaklık ve arazi kullanımı (Corine 2012'den alınan verilerden faydalanılarak hazırlanmıştır) parametreleri haritaları. ....	22
<b>Şekil 2.7</b> Yağış miktarı (MGM'den alınan verilerden faydalanılarak üretilmiştir), litoloji (MTA'dan alınan verilerden faydalanılarak hazırlanmıştır) ve NDVI (Landsat 8 Uydu Görüntüsünden faydalanılarak üretilmiştir) parametreleri haritaları. ....	25
<b>Şekil 2.8</b> Heyelan değerlendirmede kullanılan parametreler (Aleotti ve Chowdury, 1999; AFAD, 2015'den faydalanılarak uyarlanmıştır). ....	27
<b>Şekil 2.9</b> Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerin istatistiksel değerlendirmesi (Dağ 2007'den uyarlanmıştır). ....	28
<b>Şekil 2.10</b> Geliştirilen 'Frequency Ratio' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.....	32
<b>Şekil 2.11</b> Geliştirilen 'Frequency Ratio' programına ait arayüz. ....	33
<b>Şekil 2.12</b> Geliştirilen 'WOFE' programına ait arayüz. ....	37
<b>Şekil 2.13</b> Geliştirilen 'WOFE' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü. ....	38
<b>Şekil 2.14</b> Geliştirilen 'Data Generation for Logistic Regression Analyses' programına ait arayüz.....	43
<b>Şekil 2.15</b> Geliştirilen 'Data Generation for Logistic Regression Analyses' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü. ....	44
<b>Şekil 2.16</b> LR analizini gerçekleştirmek üzere Matlab da geliştirilen 'Logistic Regression' adındaki kullanıcı arayüz programı.....	46
<b>Şekil 2.17</b> Geliştirilen 'Logistic Regression' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.....	48
<b>Şekil 2.18</b> Geliştirilen 'Logistic Regression' programına ait arayüz.....	48
<b>Şekil 2.19</b> Geliştirilen 'The percentage of occurred landslides and the area of each zone' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.....	50
<b>Şekil 2.20</b> Geliştirilen 'The percentage of occurred landslides and the area of each zone' programına ait arayüz.....	50
<b>Şekil 2.21</b> Geliştirilen 'Accuracy analysis with confusion matrix' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü. ....	51

<b>Şekil 2.22</b>	Geliştirilen ‘Accuracy analysis with confusion matrix’ programına ait arayüz. ....	52
<b>Şekil 3.1</b>	FR kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH. ....	55
<b>Şekil 3.2</b>	WOFE kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH. ....	58
<b>Şekil 3.3</b>	LR kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH. ....	61
<b>Şekil 3.4</b>	FR, WOFE, LR kullanıcı arayüz programları sonucu üretilen HDH’lerin ROC eğrileri. ....	65



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> Çalışma kapsamında kullanılan veriler.....	15
<b>Çizelge 2.2</b> Geliştirilen ‘Frequency Ratio’ kullanıcı arayüz programı çıktısı, parametrelerin FR değerleri .....	34
<b>Çizelge 2.3</b> Geliştirilen ‘WOFE’ kullanıcı arayüz programı çıktısı, parametrelerin C (WOFE) değerleri.....	40
<b>Çizelge 2.4</b> Geliştirilen ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ kullanıcı arayüz programı çıktısı, LR analizi için gerekli olan veri tablosu .....	44
<b>Çizelge 2.5</b> Matlab da Geliştirilen ‘Logistic Regression’ kullanıcı arayüz programı çıktısı, $\beta$ katsayıları .....	46
<b>Çizelge 2.6</b> Hata matrisi; a, doğru pozitif; b, yanlış negatif; c, yanlış pozitif; d, doğru negatif gösterimi.....	51
<b>Çizelge 3.1</b> FR kullanıcı arayüz programı ile üretilen haritanın, heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımı .....	56
<b>Çizelge 3.2</b> WOFE kullanıcı arayüz programı ile üretilen haritanın, heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımı. ....	57
<b>Çizelge 3.3</b> LR kullanıcı arayüz programı ile üretilen haritanın, heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımı .....	60
<b>Çizelge 3.4</b> ‘The percentage of occurred landslides and the area of each zone’ kullanıcı arayüz programı çıktıları .....	63
<b>Çizelge 3.5</b> ‘Accuracy analysis with confusion matrix’ kullanıcı arayüz programı çıktıları .....	64

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AFAD</b>	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
<b>ANN</b>	Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları)
<b>AUC</b>	Area Under Curve (Eğri altında kalan alan)
<b><math>\beta</math></b>	Beta katsayısı
<b>CBS</b>	Coğrafi Bilgi Sistemleri
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
<b>DVM</b>	Destek Vektör Makineleri
<b>FR</b>	Frequency Ratio (Frekans Oranı)
<b>HDH</b>	Heyelan Duyarlılık Haritası
<b>LR</b>	Logistic Regression (Lojistik Regresyon)
<b>MTA</b>	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
<b>LSI</b>	Landslide Susceptibility Index (Heyelan Duyarlılık İndeksi)
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index
<b>ROC</b>	Receiver Operator Characteristics
<b>SAM</b>	Sayısal Arazi Modeli
<b>WOFE</b>	Weight of Evidence

## 1. GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız dünya gerek insan faaliyetleri gerekse doğal afetler neticesinde değişim halindedir. Dünyada meydana gelen doğal afetler birçok can ve mal kaybına neden olmaktadır. Büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olan bu doğal afetlerden biri de heyelanlardır. Heyelanlardan meydana gelen kayıplar her geçen gün artmakta ve bu durum nedeniyle dünya ekonomisi olumsuz olarak etkilenmektedir.

Heyelan Türkiye’de de birçok kayba neden olan ve en çok görülen doğal afetlerden birisidir. Türkiye’de hemen hemen her ilin belirli derecelerde heyelandan etkilendiği görülmektedir (Gökçe vd., 2008). Türkiye’de heyelan olma potansiyelinin en fazla olduğu bölgelerin başında Karadeniz bölgesi gelmektedir. Günümüz teknolojisinde heyelanlardan kaynaklanan kayıplar, heyelanlı alanların tespit edilmesi ve çevrenin buna göre planlanmasıyla azaltılabilir. Bu alanlar, heyelan duyarlılık analizleri ile Heyelan Duyarlılık Haritası (HDH) üretilmesi sonucunda belirlenebilir.

Heyelan duyarlılık analizinin amacı, tehlikeli ve riskli alanların tespit edilerek heyelanın etkilerini azaltmaktır (Akıncı vd., 2014). Tehlike haritaları, meydana gelen doğal olayların oluşumunun tanımlanarak gelecekte bu gibi doğal olayların oluşumunun tahmin edildiği bilgileri içermektedir (Varnes, 1984). Bu gibi nedenlerden dolayı, HDH’lerin her bölge için hızlı ve kaliteli bir şekilde üretilmesi doğal afet yönetimi açısından son derece önemlidir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak üretilen HDH için birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. Bu süreçte iki temel adım mevcuttur. Bu adımlardan biri yöntemin seçimi diğeri ise kullanılacak parametrelerin belirlenmesidir. Literatür incelendiğinde farklı yöntemler ve parametreler kullanılarak HDH’nin üretildiği görülmektedir. Bu çalışmada, literatürde çoğunlukla kullanılan ve en doğru sonucu verdiği vurgulanan Frekans Oranı (FR - Frequency Ratio), Weight of Evidence (WOFE) ve Logistic Regression (LR) yöntemleriyle CBS tabanlı HDH’nin oluşturulması ve HDH’nin doğruluğunun tam otomatik olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu yöntemler için kullanıcı arayüz programlarının geliştirilmesinin nedeni literatürde yaygın olarak kullanılmaları ve HDH üretim sürecinin çok uzun sürmesidir. HDH üretimi, yer bilimciler tarafından geniş çapta çalışılan bir konu olduğundan, bu amaçla geliştirilen kullanıcı arayüz programları, bu alanda çalışan araştırmacılara büyük kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca HDH üretmek için kullanılan parametrelerden birinin dahi değişmesi ya da yanlış hesaplanması durumunda birçok işlemin tekrarlanması gerekmektedir. Bu nedenle geliştirilen kullanıcı arayüz programı, bu alandaki araştırmacıların çalışmalarını kolaylaştırarak işlem süresini büyük ölçüde kısaltacaktır.

Çalışmada, heyelan duyarlılık analizi için eğim, bakı, yükseklik, litoloji, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), arazi kullanımı ve yağış olmak üzere 9 parametre kullanılmıştır. Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan en önemli farkı, FR, WOFE ve LR yöntemleriyle toplam 9 parametre kullanılarak HDH'nin üretilmesi ve yapılan çalışmanın doğruluğunun hesaplanması işlemlerinin CBS ortamında kullanıcı arayüz programı ile tam otomatik olarak gerçekleştirilmesidir. Üstelik bu kullanıcı arayüz programı dünyada herhangi bir heyelan alanında uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir. Çalışma alanı olarak, heyelan olaylarının en çok görüldüğü bölgelerden birisi olan Sivas ili Koyulhisar ilçesi ve çevresi seçilmiştir.

## **1.2.Önceki Çalışmalar**

Van Westen vd. (1997); yaptıkları çalışmada CBS ile heyelan tehlike haritalarının üretimi aşamasında uygulanan yöntemleri gruplandırarak incelemişlerdir. Gruplandıkları yöntemleri uygulamak için heyelan envanterinin bulunması gerektiğini vurgulamışlardır. Yöntemleri ise nitel yaklaşım, istatistiksel nicel yaklaşım ve deterministik yaklaşım olmak üzere 3 grupta adlandırmışlardır. Bu yaklaşımları çalışma ölçekleri, kullanılacak verileri, uzman görüşünün analize dahil edilebilme durumu, uygulama zamanı ve çalışma için gerekli olan maliyet açısından değerlendirmişlerdir. İstatistiksel yaklaşım için uygun büyüklükte alanda yeterli verilerle çalışılması gerektiğini, deterministik yaklaşımda ise harcanacak para ile elde edilecek sonuç oranı değerlendirildiğinde çalışma için belli sınırlamalar doğuracağını belirtmişlerdir.

Guzetti vd. (1999); günden güne yaşam alanlarının gelişmesiyle doğal afetlerin etkisinin arttığını vurgulayarak can ve mal kaybının artmasını önlemek adına arazi kullanımının düzenlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda heyelan duyarlılığı değerlendirmek adına yöntemler önererek bu yöntemleri çalışmalarında uygulamışlardır. Çalışma alanı olarak orta İtalya'nın Umbria ve Marche bölgelerini seçerek bu alanlarda çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin uygulanması ve arazinin birimlere bölünmesi için farklı yöntemler kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmanın belli sınırlamalara rağmen arazi kullanım planlamasına uygun olacağı sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda daha öncede tartışıldığı gibi heyelan tehlike değerlendirilmesinde belli teknikler ve yöntemler hakkında genel bir anlaşmaya varılamadığını vurgulayarak bilimsel uygulamaların önemine değinmişlerdir.

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001); yaptıkları çalışmada HDH'lerin üretilmesi için kullanılan parametrelerin belirsizliğini eleştirmişlerdir. Çalışmada parametreleri jeolojik, topoğrafik ve çevresel olarak gruplandırmışlardır. Heyelanlı alanların tespitinde kullanılması gereken faktörlerin seçimi için kesin bir görüş olmadığını haritalar üretilirken daha çok çalışma alanı göz önünde bulundurularak ve kişisel değerlendirmeye göre faktörlerin değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, çevresel, topografik ve jeolojik parametrelerden en az bir tane faktör seçilmesi gerektiğini ve buna bağlı olarak çalışma alanına göre parametrelerin değerlendirilip kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2004); heyelanların karmaşık bir yapıya sahip oldukları için duyarlılık haritalarının üretilmesinin kolay olmadığını ve bu nedenle birçok yöntem uygulandığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında Batı Karadeniz bölgesinin bir kısmının heyelan duyarlılık haritasını üretmek için yeni bir çalışma gerçekleştirerek bulanık ilişkileri kullanmışlardır. Bu bağlamda geliştirdikleri bilgisayar programı ile (FULLSA) heyelan envanterini ve parametreleri analiz ederek programda kullandıkları bulanık ilişkiler yardımıyla heyelan duyarlılık haritasını otomatik olarak ürettiklerini vurgulamışlardır.

Lee ve Talib (2005); Malezya da bulunan Penang bölgesinin, CBS ve uzaktan algılama verileri kullanılarak heyelan duyarlılığı ve parametrelerin etkisini incelemişlerdir.

Çalışma kapsamında tüm parametreleri FR yöntemi ile değerlendirerek, HDH üretmişlerdir. Her bir parametreyi sırayla ayırarak FR yöntemiyle Heyelan Duyarlılık İndeksi (LSI-Landslide Susceptibility Index) değerlerini hesaplamış ve 5 sınıfa ayırmışlardır. Bunların doğruluğunu değerlendirerek çalışma alanına göre hangi verilerin hangi ölçüde kullanılması gerektiğini tartışmışlardır.

Yılmaz (2009); çalışması kapsamında Tokat ilinde bir bölgenin HDH'sini oluşturmuştur. FR, LR ve Artificial Neural Networks (ANN-Yapay Sinir Ağları) yöntemlerini uygulayarak gerçekleştirdiği çalışmada üretmiş olduğu haritaları birbiri ile karşılaştırarak yöntemleri değerlendirmiştir. CBS ortamında yaptığı çalışmada, jeoloji, drenaj ağı, yükseklik, eğim, bakı, fay, topoğrafik nemlilik indeksi ve akım gücü parametrelerini kullanarak HDH'lerini üretmiştir. Ürettiği haritaları değerlendirmek için doğruluk analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmasının sonunda ROC analizini uygulayarak FR, LR ve ANN için sırasıyla 0.826, 0.842 ve 0.852 değerlerini elde etmiştir. Sonuç olarak ANN yönteminin en yüksek doğruluğu sağladığını belirtmesine rağmen, doğruluğu buna yakın olan FR yönteminin kullanılmasının daha pratik ve kolay olması nedeniyle önermiştir.

Jimenez vd. (2009); yaptıkları çalışmada eğim, bakı, yükseklik ve litoloji parametrelerini kullanarak ArcGIS yazılımında CBS matris yöntemiyle HDH üreten kullanıcı arayüz programı (Model Builder ile) geliştirmişlerdir. Geliştirilen kullanıcı arayüz programının girdisi DEM verisi, jeoloji parametresi ve heyelan envanteri olup, çıktı ürünü HDH dir. Geliştirdikleri arayüz programında faktörler yeniden sınıflandırılarak vektörel bir formatta değerlendirilmektedir. Aynı zamanda üretilen haritanın doğruluğunu hesaplayan bir kullanıcı arayüz programı da geliştirmişlerdir.

Poudyal vd. (2010); CBS tekniklerini kullanarak Nepal'in Panchthar yerleşim alanında FR ve ANN yöntemi ile 10 parametre yardımıyla HDH üretmişlerdir. FR ve ANN yöntemleri ile ürettikleri HDH'nin doğruluklarını sırasıyla %82.21 ve %78.25 olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmada FR yöntemi ile ürettikleri HDH'nin doğruluğunu ANN yönteminden daha yüksek elde etmişlerdir.



Bai vd. (2011); çalışmasında Çin'in Lianyungang bölgesindeki bir alanda LR yöntemi ile heyelan verilerinin analizini yaparak, verilerin modellenmesi için bir yaklaşım sunmuşlardır. Eğim, bakı, yükseklik, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, litoloji, plan eğriliği, profil eğriliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi, akış gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi, yola uzaklık ve yerleşime uzaklık parametrelerini çalışmaları kapsamında kullanmışlardır. Ürettikleri sonuç haritasını 5 sınıfa ayırarak temsil etmişlerdir. Sınıflarının doğru sınıflandırma yüzdelerini kontrol ederek ve HDH'nin kalitesine bakarak doğruluğu ortalama %87 olarak elde etmişlerdir. Alanlardaki HDH'lerini üretmek için CBS ortamında gerçekleştirilen LR analizini önermişlerdir.

Altural (2012); çalışması kapsamında FR yöntemi ile Konya ili Akşehir ilçesinin batısında bir alanda heyelan duyarlılığını incelemiştir. Ürettiği HDH ile aynı bölgede LR ve WOFE yöntemleriyle üretilen HDH'yi karşılaştırmıştır. Çalışmasında 18 parametre ile çalışmıştır. Alandaki envanter heyelanlarını analizde ve en son doğruluk değerlendirmede analiz ve test heyelanları olarak ikiye ayırmıştır. Belirlediği analiz heyelanları ile FR yöntemini uygulayarak HDH oluşturmuştur. FR yöntemiyle ürettiği HDH'yi diğer yöntemler ile üretilen HDH ile karşılaştırmak amacıyla doğruluk analizi gerçekleştirmiştir. FR, WOFE ve LR yöntemleriyle üretilen HDH'nin ROC analizi sonuçları sırasıyla %97.6, %93.7 ve %95.2 olarak belirlenmiştir. FR ve LR yöntemlerinin doğruluk değerlerinin birbirine yakın olduğunu ve iyi sonuç verdiğini vurgulanmıştır.

Kavzoğlu vd. (2012); afet yönetimi için HDH'lerin doğru ve güncel olması gerektiğini savunarak HDH'sini üretme aşamasında kullanılan parametreleri değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında HDH üretmek için kullanılan parametre sayısının haritanın doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu nedenle ayrı ayrı 3,5,7 ve 10 faktörlerden oluşan 4 farklı veri seti oluşturmuşlardır. LR ve DVM yöntemlerini kullanarak bu parametreleri değerlendirmişler ve HDH üretmişlerdir. Sonuç olarak faktör sayısı artarken haritanın doğruluğunun belli bir yere kadar artıp daha sonra düştüğünü belirtmişlerdir. HDH'nin doğruluğunun her iki yöntem için de en iyi olduğu veri setinin 7 faktörden oluşan veri seti olduğunu vurgulamışlardır.

Akgün vd. (2012); Mamdani bulanık çıkarım sistemi için Matlab da “MamLand” adında bir program geliştirip yedi farklı parametre kullanarak Sinop çalışma alanında uygulamışlardır. Bu programı kullanarak heyelan duyarlılık derecelerini gösteren bir veri dosyası üretmişler ve dosyayı CBS ortamına aktararak HDH oluşturmuşlardır. Üretilen haritanın doğruluğunu ROC analizi ile % 85 olarak elde etmişlerdir. Sonuç olarak, üretilen HDH’nin başarılı olduğunu ve yöntemin, heyelan araştırmaları için iyi bir katkı sağladığını vurgulamışlardır.

Terranova vd. (2016) yaptıkları çalışmada Costa Viola’nın (Calabria) dağlık bölgesinde yağışın tetiklediği heyelana maruz kalan alanda, heyelan riskini değerlendirmişlerdir. Heyelan duyarlılığı çalışmalarında tetikleyici parametrelerden olan yağış yoğunluğunun ne ölçüde etkisi olduğunu araştırmışlardır. Heyelan tehlikesini tetikleyici olayların tekrarlanmasına göre değerlendirmişlerdir. Çalışma alanında heyelanı etkileyen birçok faktörle birlikte meydana gelen yağış olayının da etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda en yüksek riske sahip olan alanların sahil boyunca olduğunu elde etmişlerdir. Analize göre yağış kaynaklı heyelanların en fazla kıyı kesimde olduğunu vurgulamışlardır. CBS tabanlı işlemler ile üretilen risk haritasının arazi kullanımı için yapılan planlamalarda önemli olduğunu belirterek heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında yağışın da önemli bir tetikleyici faktör olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sezer vd. (2017); Netcad’de uzman tabanlı bir modül geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu sistemi Doğu Karadeniz bölgesinde uygulamışlardır. Bu modül ile modifiye analitik hiyerarşi işlemi ve Mamdani bulanık çıkarım sistemini uygulayarak yöntemleri birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Bununla birlikte, çalışmalarında işlemlerin teknik detaylarına da değinerek yöntemleri yorumlamışlardır. Sonuç olarak modifiye analitik hiyerarşi işlemi ile üretilen haritanın doğruluğu 0.82 olarak elde edilirken diğer yöntemin doğruluğu 0.66 olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda modifiye analitik hiyerarşi işleminin 47 saniyede, Mamdani bulanık çıkarım sisteminin 3 saat 39 dakikada sonuç verdiğini vurgulamışlardır.

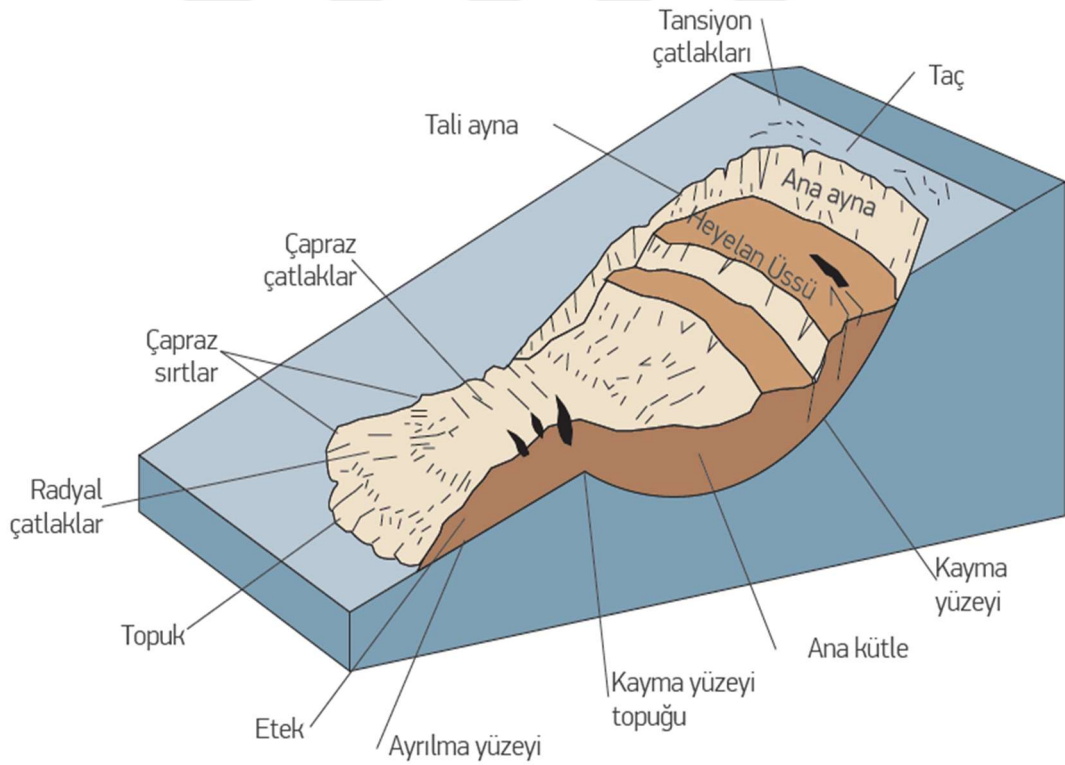
İpbüker ve Şahin (2016); HDH üretiminde birçok farklı faktörün değerlendirildiğini ve bu faktör setlerinin seçim sürecinin anahtar bir işlem adımı olduğunu belirtmişlerdir. Faktörlerin seçimi için otomatik seçime dayalı özellik seçimi algoritmalarının değerlendirilmesi gerektiğini savunarak, bu şekilde optimum performansı elde etmek amacıyla en iyi faktör setini araştırmışlardır. Belirledikleri faktör setlerinden oluşan verileri DVM, LR ve karar ağacı yöntemleri ile modelleyerek HDH'leri üretmişlerdir. HDH üretmek ve doğruluğunu test etmek için kullanacakları eğitim ve doğrulama verilerinin üretimi, farklı faktörlerden oluşan modellerin üretiminde kullanılan LR yönteminin ve duyarlılık haritasının üretimi ve bu haritanın doğruluğunun değerlendirilmesi işlemleri için Matlab'da kod yazmışlardır. Aynı zamanda birkaç özellik seçimi algoritmalarının Matlab kodlarını HDH üretiminde kullanılan faktörler üzerinde test ederek çeşitli modeller ortaya koymuşlardır.

Şahin, (2017); çalışmasında HDH'lerin gelecekte oluşabilecek potansiyel heyelan alanlarının tespitinde kullanıldığını, bu nedenle doğru ve güncel üretilmesinin önemli olduğuna değinmiştir. LR ve Destek Vektör Makinaları (DVM) yöntemleri ile ilgili ayrıntılı bilgi vererek HDH üretiminde bu yöntemleri uygulamıştır. Bartın-Ulus ve Trabzon-Araklı bölgelerini çalışma alanı olarak seçmiştir. Çalışmasında 20 faktörü açıklamış ve her iki çalışma alanı için özellik seçimi algoritmalarını kullanarak 18 adet model üretmiştir. Heyelana etkin faktörlerin seçimi ve optimum faktör boyutlarının belirlenmesi için Ki-kare, Fisher, Gini indeksi ve rastgele orman gibi özellik seçimi algoritmalarından faydalanmıştır. HDH'lerin üretilmesi için seçilen tüm faktör seti boyutlarını DVM ve LR yöntemleri ile test etmiş ve model performanslarını değerlendirerek doğruluklarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda eğim ve litolojinin en etkili faktör olduğunu, DVM yönteminin LR yönteminden daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca elde ettiği bulgular, çok sayıda faktörün mevcut olduğu koşullarda HDH üretiminde akıllı otomatik yaklaşımların kullanılması gerektiğini vurgulamıştır.

### 1.3. Heyelan ve Heyelan Duyarlılığı ile İlgili Kavramlar

Heyelan kavramının birçok farklı tanımı mevcuttur. Heyelan, moloz, kayaç ve toprak malzemelerinin ya da bunların karışımının yerçekim etkisi ile aşağı yönde hareketi ile tanımlanmaktadır (Şekil 1.1) (Cruden ve Varnes, 1996). Heyelanın en yaygın kullanılan tanımı ise Varnes (1978) tarafından yapılmıştır. Buna göre heyelan, yamacı oluşturan toprak, kaya, moloz gibi malzemelerin değişik nedenler sonucunda yer çekimi etkisiyle yamaçtan aşağıya hareket etmesidir. Aynı zamanda heyelanlar; iklimsel faktörler, jeolojik etmenler ve bunlar gibi çeşitli insan ya da doğal etmenler ile ilişkili olarak tetiklenmektedir (AFAD, 2015).

Heyelan ile ilgili olarak malzemenin türü ve yapısı, kayma yüzeyinin şekli, hareketin şekli ve hızı gibi birçok kavram Varnes (1978) tarafından sınıflandırılarak açıklanmıştır.



**Şekil 1.1** Heyelan ve Unsurları (AFAD, 2015).

Geçmişte yapılan çalışmalara bakıldığında heyelan duyarlılık kavramı, tehlike ve risk kavramları ile zaman zaman aynı anlamda kullanılsa da birbirinden farklı anlamları ifade etmektedir. Bununla birlikte gelişen bilgisayar teknolojisi, CBS ve uzaktan algılama teknikleriyle heyelana yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi ise o alanın ileride heyelan olabilme durumunun derecesine göre sınıflandırılmasını açıklamaktadır.

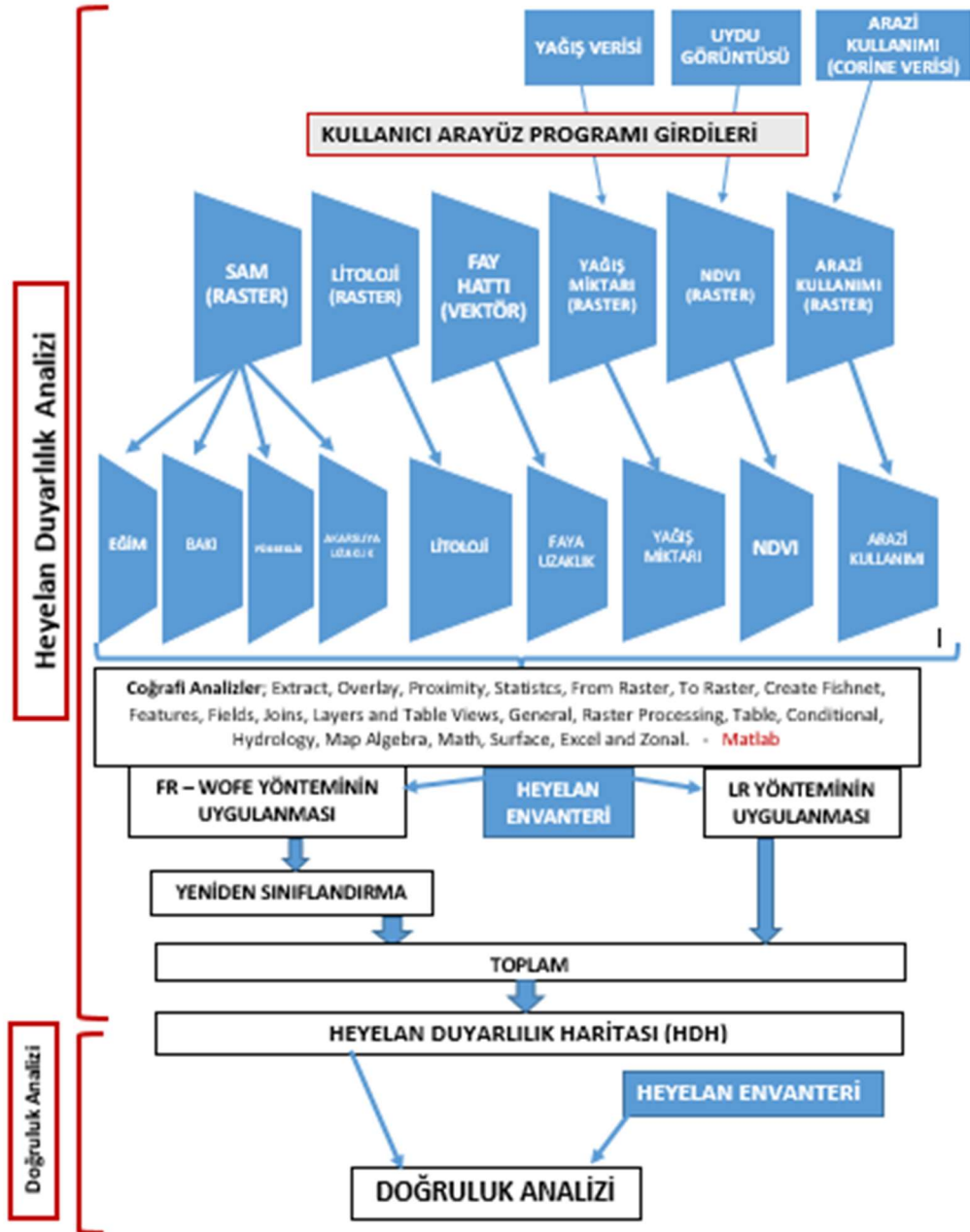
Heyelan duyarlılığı ile ilgili çalışmalarda geçmişte meydana gelmiş heyelanlar ve bunların oluşma şekli ile çeşitli parametrelerin birlikte değerlendirilmesi sağlanır (Fell vd., 2008). Daha sonra heyelan meydana gelebilecek potansiyele sahip alanlar, bunlara bağlı olarak belirlenerek düşük, orta, yüksek, çok yüksek vb. şeklinde sınıflandırılır. Kısaca vurgulamak gerekirse geçmişte olmuş heyelanlar gelecekte olabilecek heyelanların göstergesidir.

Varnes'e (1984) göre heyelan tehlikesi belli alanda belirli bir zamanda hasar verecek etkiye sahip olan olayın oluşma olasılığıdır. Hartlen ve Vieberg'e (1988) göre ise iyi bir heyelan tehlike haritası, heyelanın türü, büyüklüğü ve oluşma olasılığı özelliklerini içerisinde barındırması gerekir. Heyelan tehlikesine geçiş için heyelan duyarlılığının değerlendirilmiş olması gerekir. Heyelan tehlikesine geçişte ise, alandaki heyelanların zamansal, boyutsal ve konumsal olasılıklarının iyi tahmin edilmesi şarttır (Guzetti vd., 1999; Fell vd., 2008; Van Westen vd., 2008).

Heyelan riskinin değerlendirilmesi ise daha geniş kapsamlı çalışmalardır. Çünkü can ve mal kayıpları dışında ekonomi, çevrede oluşan zararlar ve hasarın boyutu değerlendirilmektedir. Heyelan duyarlılığı için kullanılan parametreler dışında nüfus, ekonomi vb. verilere de ihtiyaç duyulur.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında HDH'leri üretmek ve HDH'lerin doğruluk analizlerini gerçekleştirmek için kullanıcı arayüz programlarının geliştirilmesi sırasında izlenen işlem adımları Şekil 2.1 de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Çalışmada izlenen adımlar.

## 2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

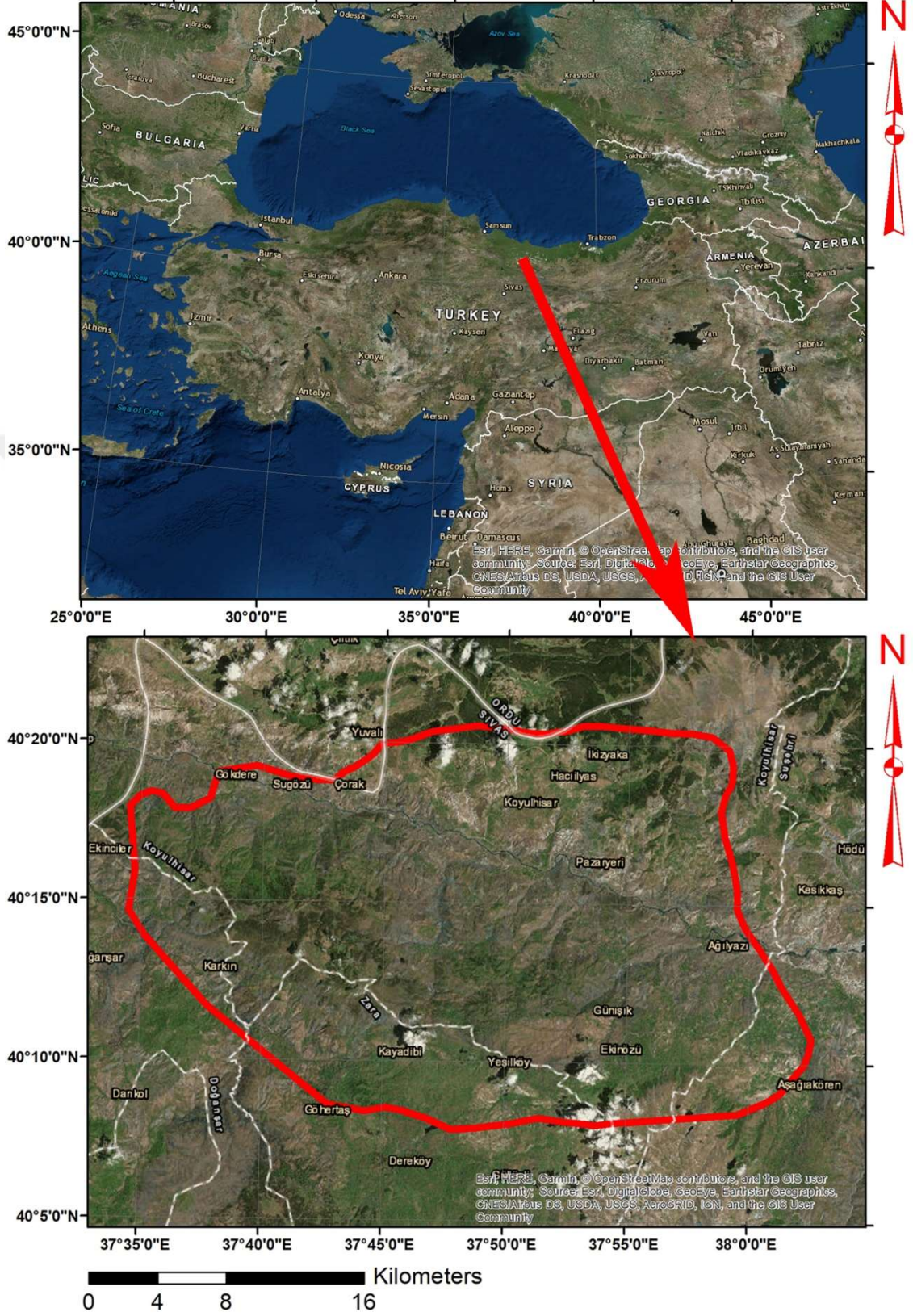
Koyulhisar ilçesi, Sivas'a 180 km uzaklıkta olup, batıda Tokat'ın Resadiye kuzeyde Ordu ilinin Mesudiye, doğuda Suşehri ve güneyde Zara ve Hafik ilçeleri ile çevrilidir. Çalışma alanının tektonik olarak aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda (KAFZ) yer alması nedeniyle bölgedeki kayalar genellikle kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Bölgedeki yüksek eğimli topografyaya da bağımlı olarak bölge içerisinde eski ve yeni birçok heyelan bulunmaktadır. Bu heyelanların hareket yönleri ise, genelde yerleşim alanlarını tehdit eder konumdadır (Sendir ve Yılmaz 2001). Bu gibi nedenlerden dolayı Koyulhisar ilçesi ve çevresini içine alan yaklaşık 708 km<sup>2</sup> lik alan çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2.2).

Koyulhisar ilçesi ve civarı dağlık bir bölgede yer almaktadır. Çalışma alanının en önemli ve en büyük akarsuyu olan Kelkit ırmağı, yaklaşık doğu-batı yönünde ve KAFZ'na yaklaşık paralel olarak uzanmaktadır. Çalışma alanındaki en yüksek tepelerden ve dağlardan bazıları; Boztepe, Saytepe ve Iğdır dağı olup sırasıyla 1361 m, 1240 m ve 1850 m yükseklikte şev açıları ise 20 derece ile 75 derece arasında değişmektedir (Sendir ve Yılmaz, 2001).

Koyulhisar; KAFZ üzerinde yer alan, yüksek dağların ve sık ormanların bulunduğu bir bölgedir. Bu bölgenin sık sık heyelanlara maruz kaldığı bilinmektedir. Kaymalar genellikle ağır geçen kış mevsiminden sonra Koyulhisar'ın daha çok kuzeyinde moloz akmaları şeklinde gözlenmektedir. Bölgede heyelanları tetikleyen en önemli sebeplerden biri de kış aylarından sonra eriyen kar sularının yeraltı su seviyesinde oluşturduğu artış olarak gösterilmektedir.



## ÇALIŞMA ALANI: KOYULHİSAR CİVARI



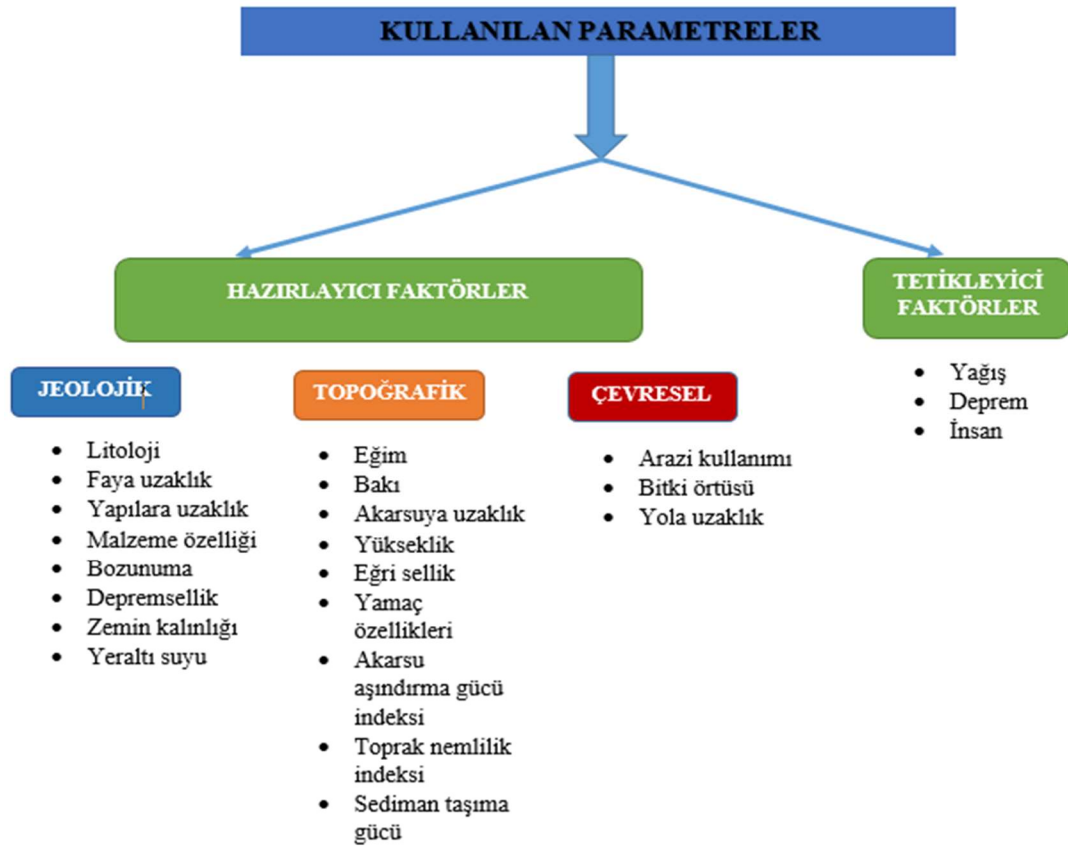
Şekil 2.2 Çalışma alanı.



## 2.2. Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde öncelikle heyelan envanterine ve amaca yönelik olan farklı parametrelere ihtiyaç vardır. Aynı zamanda heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken kullanılan bir çok farklı parametre söz konusudur.

Geçmişten günümüze kadar bu konu ile ilgili birçok farklı çalışma yapılmış ve parametreler kullanılmıştır. Bu çalışmanın esas amaçlarından biri kullanıcı arayüz programları geliştirilerek heyelan duyarlılık analizlerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesi olduğundan literatürde en yaygın kullanılan ve önerilen parametreler hesaba katılmıştır. Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) ile Dağ'ın (2007) bir çok çalışmayı inceleyerek elde ettikleri istatistiksel sonuçlarının yanı sıra 2015 yılında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) hazırladığı Heyelan-Kaya Düşmesi temel kılavuzunda bulunan değerlendirmeler dikkate alınarak kullanılan tüm parametreler aşağıda sunulmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan parametreler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Dağ, 2007'den uyarlanmıştır).

Parametre seçimi ile ilgili literatürde yapılan birçok çalışma mevcuttur (Kavzoğlu vd., 2015; Pradhan ve Lee, 2009). Gökçeoğlu ve Ercanoğlu'na (2001) göre heyelanlı alanların tespitinde kullanılması gereken faktörlerin seçimi için kesin bir görüş yoktur. Haritalar üretilirken daha çok çalışma alanı göz önünde bulundurulmakta ve kişisel değerlendirmeye göre faktörler değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, çevresel, topografik ve jeolojik parametrelerden en az bir tane faktör seçilmesi gerekir. Hangi parametrenin seçilmesi gerektiğine yönelik kesin bir görüş olmasa da birçok çalışmada yaygın olarak kullanılan parametreler mevcuttur. Literatür incelendiğinde; Eğim, litoloji, arazi kullanımı veya bitki örtüsü, faya uzaklık, drenaj ağına uzaklık, yükseklik ve bakı parametrelerinin kullanımı yaygındır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012). Bununla birlikte, Kavzaoğlu vd. (2015) eğim, litoloji ve drenaj ağına uzaklığın en önemli faktörler olduğunu da vurgulamıştır.

Bu çalışmada ise literatürde yaygın olarak kullanılan ve önerilen; eğim, bakı, yükseklik, jeoloji, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve yağış parametreleri kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametrelerinin birlikte kullanılmaması önerilse de bu çalışmada Van Westen ve Bonilla (1990) tarafından ortaya konan ve farklı detayların değerlendirildiği savunulan her iki parametre de kullanılmıştır. Çünkü sadece arazi kullanımı ile bitki örtüsü olarak görünen detayın ne kadar sağlıklı ve heyelana duyarlı olup olmadığını ortaya koymak mümkün değildir.

2015 yılında AFAD'ın hazırladığı Heyelan-Kaya Düşmesi temel kılavuzunda da belirtildiği gibi, yağış parametresi tetikleyici faktörler içinde olmasına karşın, topoğrafik yükseklik ile ilişkilendirilip çevresel parametreler olarak da heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bu parametreyi kullanarak heyelan duyarlılık haritasını oluşturan ve öneren çalışmalar da mevcuttur (Nandi ve Shakoor, 2009; Che vd., 2012; Altural, 2012). Terrarona vd. (2016) diğer faktörlerle birlikte yağış faktörünü de inceleyerek kullanılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışma kapsamında topoğrafik yükseklik ile ilişkilendirilen yağış parametresi de önemli bir yere sahip olduğundan diğer parametrelerle birlikte kullanılmıştır.

### 2.3. Verilerin Elde Edilmesi ve Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programında kullanılmak üzere Koyulhisar ve çevresine ait gerekli veriler hazırlanmıştır. Çalışma alanı ise CBS ortamında raster tabanlı olarak 30 x 30 m piksel boyutunda 786.968 adet piksel ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte geliştirilen kullanıcı arayüz programı dünyanın her yerinde kullanılabilir şekilde dinamik olarak tasarlandığı için çalışma alanına göre piksel boyutu ve piksel sayısı isteğe bağlı olarak farklı tanımlamalara imkân vermektedir.

Heyelan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesinde veriler ve kullanılacak parametreler son derece önemlidir. Burada en önemli veri heyelan envanteridir. Bununla birlikte eğim, bakı, yükseklik, litoloji, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, bitki örtüsünü değerlendirmek için NDVI, arazi kullanımı ve yağış parametreleri dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan veri setlerine ilişkin bilgiler Çizelge 2.1 de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1** Çalışma kapsamında kullanılan veriler

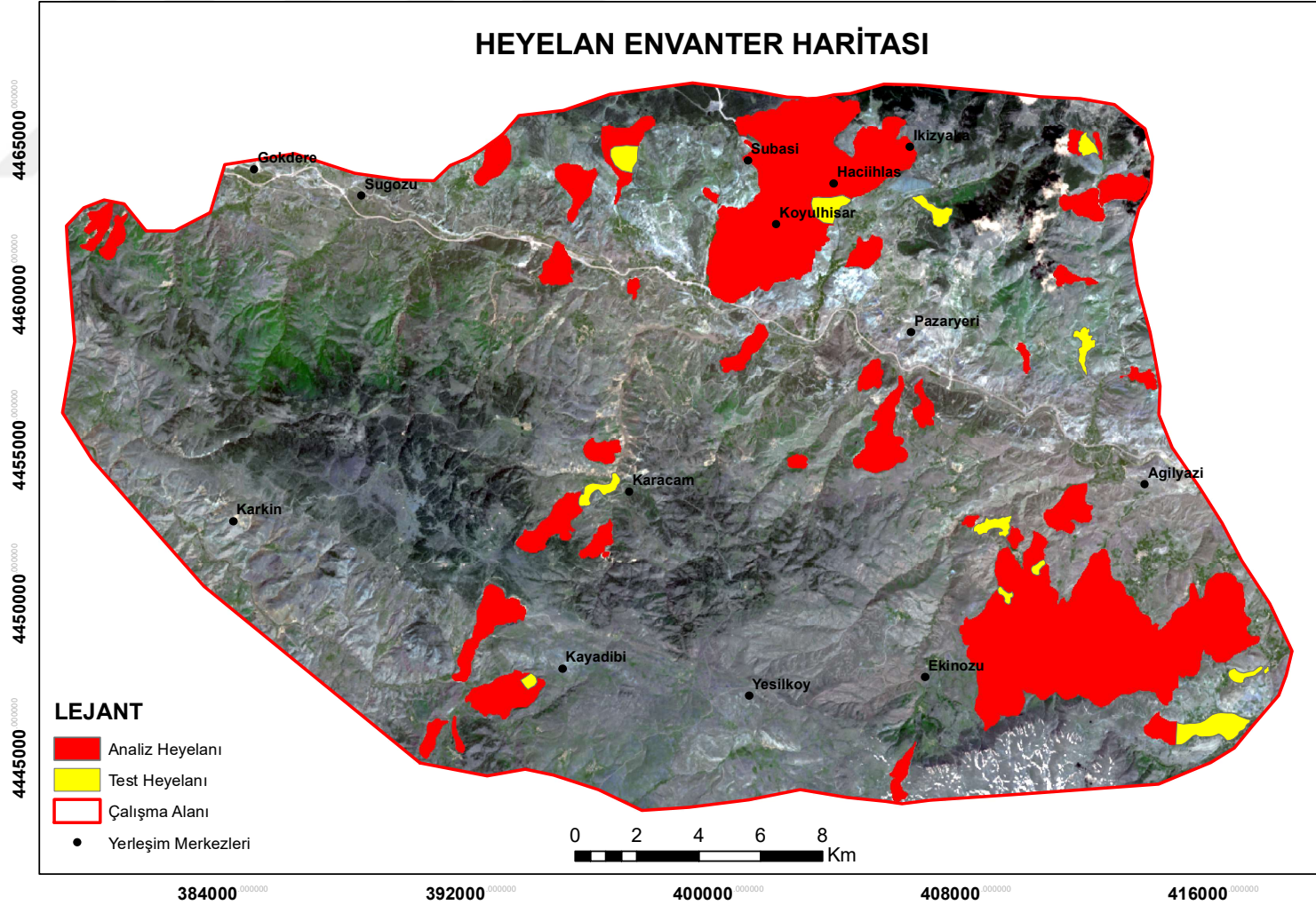
Veri	Format / Ölçek / Çözünürlük	Veri Kaynağı	Parametre
Arazi Kullanımı	Vektör	Corine 2012	Arazi kullanımı
SAM (2014)	Raster (10 metre)	Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü	Yükseklik Eğim Bakı Akarsuya Uzaklık
Landsat 8 (2017)	Raster (30 metre)	UGGS	NDVI
Fay Hattı Verisi	Vektör (1:25.000)	MTA	Faya Uzaklık
Heyelan Envanteri	Vektör (1:25.000)	MTA	Heyelan Envanteri
Litoloji Verisi	Vektör (1:25.000)	MTA	Litoloji
Yağış	Vektör	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	Yağış Miktarı

### 2.3.1. Heyelan Envanteri

HDH oluşturulurken ilk aşama mevcut heyelanların belirlenerek heyelan envanter haritalarının oluşturulmasıdır. Çünkü mevcut heyelanların oluşma koşullarının gelecekte de benzer şartlarda gerçekleşeceği öngörülmektedir (Varnes 1984; Lee vd., 2004; Erener ve Düzgün, 2007). Heyelan envanter haritaları mevcut heyelanların arazideki dağılımını gösteren haritalar olarak tanımlanmaktadır (Van Westen 1994; Nandi ve Shakoor, 2009).

Bu çalışmada heyelan envanteri verisi için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 2005 yılında üretilen heyelan envanter haritası kullanılmıştır. Çalışma alanındaki bu veriler ise raster formatta 30 x 30 m piksel boyutunda 98.785 adet piksel ile temsil edilmiştir. Mevcut heyelan envanterlerinin bir kısmı HDH'yi üretmek amacıyla analiz heyelanı, bir kısmı ise test heyelanı olmak üzere iki farklı veri setine ayrılmıştır. Toplam heyelan envanterleri içerisinde rastgele olarak 6385 adedi test heyelanları olarak seçilmiştir. Geriye kalan envanter heyelanları ise HDH'yi üretmek üzere analiz heyelanları olarak ayrılmıştır.

HDH üretmek amacıyla ayrılan analiz heyelanları heyelan duyarlılık analizi esnasında, test heyelanları ise HDH'nin doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır (Şekil 2.4). Bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programları esnek bir yapıya sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Örneğin; arayüzü kullanacak kişi envanterleri bölmeden vb. kullanmak isterse buna uygun esnekliğe de sahiptir.



Şekil 2.4 Heyelan envanter haritası (MTA, 2005'den faydalanılarak hazırlanmıştır).

## **2.3.2. Çalışmada Kullanılan Parametreler**

### **2.3.2.1. Yükseklik**

Yükseklik verisi, bozunma ve erozyon faktörünü kontrol etmekte olup (Dai ve Lee, 2002) heyelana etki eden en önemli parametrelerden birisidir. Özellikle rakımın yüksek olduğu yerlerde heyelan meydana gelme olasılığı daha yüksektir (Pachauri vd., 1998). Literatürdeki araştırmalar değerlendirildiğinde, yükseklik çok kullanılan bir parametre olmasına rağmen bu veriyi tek başına değerlendirmek sadece ön fikirdir. Bununla birlikte bitki örtüsü, bakı ve yağış gibi diğer parametreler yükseklikle ilişkilendirilerek değerlendirmeler yapılmalıdır (Dağ, 2007).

Çalışma alanına ait Sayısal Arazi Modeli (SAM) verisi fotogrametrik yöntem ile elde edilmiştir. Yükseklik verisi geliştirilen kullanıcı arayüz programında HDH üretmek için hazırlanmıştır. Elde edilen bu veri yine geliştirilen kullanıcı arayüz programı içerisinde eşit aralıklar ile 5 sınıfa ayrılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alandaki en yüksek nokta 2435 m iken en düşük yükseklik ise 581 m olarak tespit edilmiştir (Şekil 2.5). Bu parametre çalışılacak her alan için istenilen piksel boyutunda üretilerek geliştirilen kullanıcı arayüz programında kullanılabilir.

### **2.3.2.2. Eğim**

Heyelan oluşumuna etki eden en önemli topografik parametrelerden birisi de arazinin eğimidir. Aynı zamanda yamaçların eğimi heyelanların oluşmasını doğrudan etkileyerek duyarlılık çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Engebenin fazla olduğu alanlar heyelan olma olasılığını da artırmaktadır. Birçok araştırmacı eğim faktörünü çalışmalarında kullanmışlar ve önemli olduğunu belirtmişlerdir (Pradhan ve Lee, 2009; Dai vd., 2001; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Kavzoğlu vd., 2015).

Çalışma alanının eğim haritası SAM verisi kullanılarak CBS ortamında üretilmiş ve eşit aralıklar ile 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2.5). Burada da eğim parametresinin, SAM verisinden üretilmesi işlemini, geliştirilen kullanıcı arayüz programı sağlamaktadır. İnceleme alanındaki eğim değerleri ise 0 derece ile 54.60 derece arasında değişmektedir.

### **2.3.2.3. Bakı**

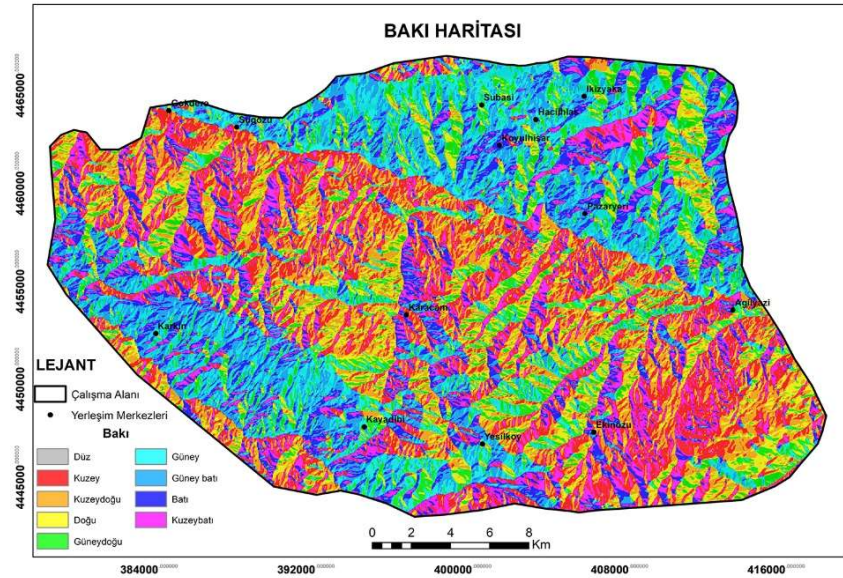
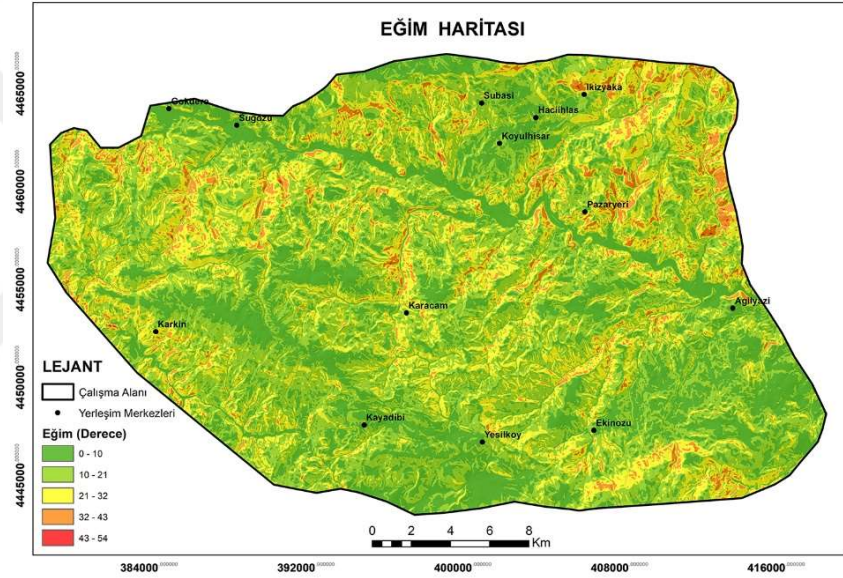
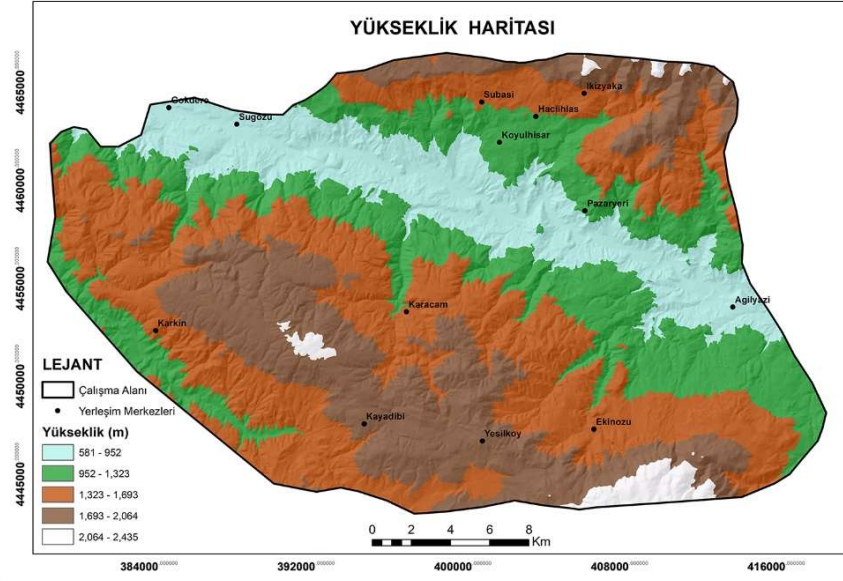
Bakı (yamaç eğim yönü), arazi yüzeyinin yönünü göstererek arazinin herhangi bir noktasındaki teğet düzlemin baktığı yön olarak ifade edilmektedir. Topografik parametreler arasında yer alan bakı, heyelanı etkileyen önemli faktörlerden birisidir (Ercanoğlu vd., 2004; Altural, 2012). Alanın güneşlenme süresi, yağış etkisi, nem ve rüzgâr durumu göz önüne alındığında bu faktörlerin değerlendirilmesi bakı haritası ile sağlanmaktadır. Birçok araştırmacı bakı parametresini çalışmalarında değerlendirmiş ve heyelanların belli yönelimlere sahip olan yamaçlarda daha yoğun olduğunu belirlemişlerdir (Dağ, 2007).

Meydana gelen heyelanların görüldüğü yamaçlarda ağırlıklı olarak yağışın da etkili olduğu vurgulanmaktadır (Dai vd., 2001; Lee vd., 2002). Bununla birlikte Pachauri ve Pant (1992) bu olayı sahanın genel morfolojik yapısı ile ilişkilendirmiştir. Meydana gelen heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda daha fazla oluşmasında bölgenin yağış faktörü, morfolojik yapısı ve güneş ışığını daha fazla alması gibi olaylar etkili olmaktadır (Dağ, 2007). Çalışma alanına ait bakı haritası (Şekil 2.5) SAM verisi kullanılarak CBS ortamında üretilmiştir. Bakı yönü 0 ile 360 derece aralığında 9 sınıfa ayrılarak heyelan duyarlılık haritası için kullanılmıştır. Bu işlemler de geliştirilen kullanıcı arayüz programında gerçekleştirilmektedir.

### **2.3.2.4. Faya Uzaklık**

Bu parametre heyelan duyarlılık analizi için göz önünde tutulması gereken önemli parametrelerdendir. Çalışma alanlarında mevcut olan faylar heyelanları etkilemekte olup literatürde birçok çalışmada kullanılmıştır. MTA tarafından üretilen fay hattı verisi bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Mevcut faylara CBS ortamında 50 m aralıklarla 500 m ye kadar tampon bölge analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece 10 sınıftan oluşan faya uzaklık haritası üretilmiştir (Şekil 2.6). Bu işlem de diğer parametrelerde olduğu gibi geliştirilen kullanıcı arayüz programı ile otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda tampon bölge mesafeleri de isteğe bağlı olarak değiştirilebilecek şekilde esnek olarak geliştirilmiştir.





Şekil 2.5 Eğim, bakı ve yükseklik parametresi haritaları.



### **2.3.2.5. Akarsuya Uzaklık**

Yamaçların doygunluk dereceleri heyelan açısından önemli bir ölçüttür. Yamaçların akarsuya olan mesafesi de bu durumu etkilemektedir. Akarsular, yamaçlarda veya şevlerde aşındırma, yamaçları oluşturan maddeleri suya doyurma şeklinde etkileyerek toprak kaymasına neden olmaktadır (Gökçeoglu ve Aksoy, 1996; Saha vd., 2002).

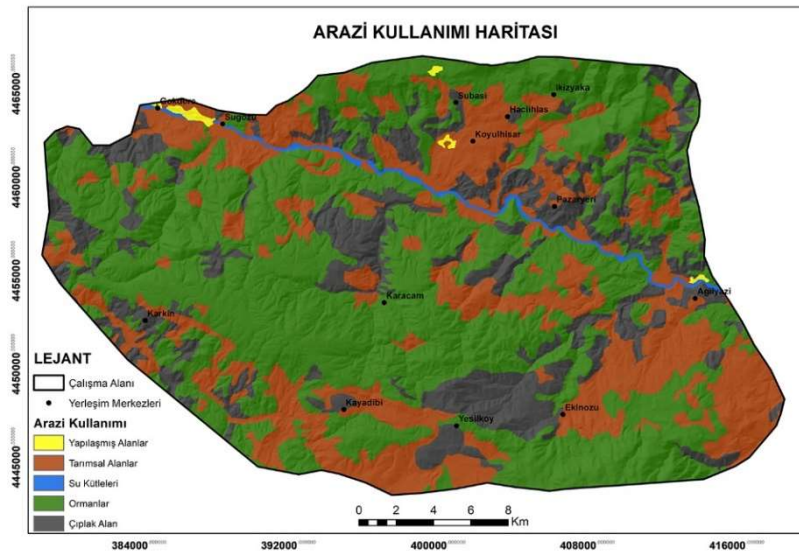
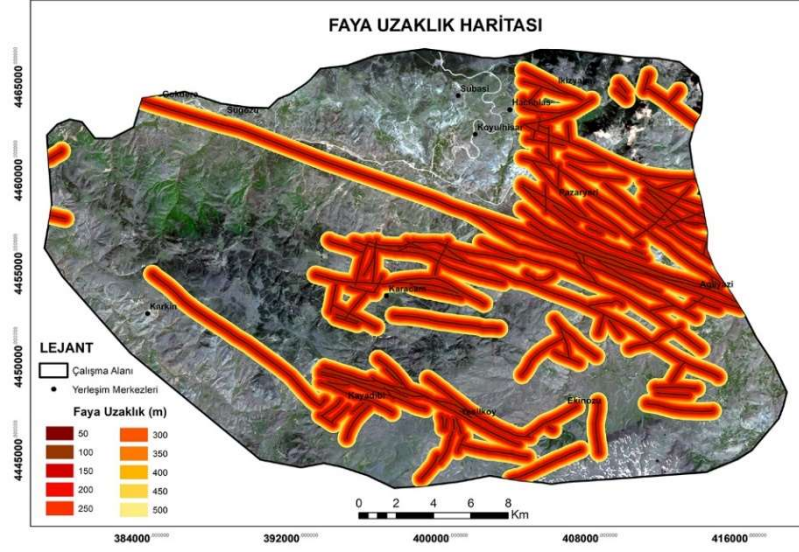
Çalışma alanının akarsu ağı SAM verisi kullanılarak ArcGIS 10.3 de geliştirilen kullanıcı arayüz programı ile belirlenmiştir. Daha sonra oluşturulan bu ağa 50 m aralıklar ile 250 m ye kadar tampon bölge analizi uygulanmıştır. Böylece 5 sınıftan oluşan akarsuya uzaklık haritası elde edilmiştir (Şekil 2.6). Akarsu ağına uygulanan bu tampon bölge değerleri kullanıcı arayüz programında dinamik yapıya sahip olup kullanıcı tarafından müdahale edilebilecek şekilde geliştirilmiştir.

### **2.3.2.6. Arazi Kullanımı**

Arazi kullanımı insan vb çevresel etmenlerden en çok etkilenen çevresel faktörler arasında yer almaktadır. Arazinin ne amaçla kullanıldığı, heyelanı etkilemesi nedeniyle önemli ve uygulamalarda kullanılan parametrelerdendir. Aynı zamanda arazi kullanımı eğimli bölgelerinin stabilitesini etkilemektedir (Varnes, 1984). Bitkinin olduğu alanlarda bulunan kökler toprağı tutarak heyelana engel olmaktadır.

Bitki örtüsü ile kaplı alanların çıplak alanlara göre heyelan olma olasılığı istisnai durumlar dışında daha azdır. Bu istisnai durumlar ise ormanların, kökleri sağlam olmayan bitkiler ve açılan yollar ile tahrip edilmesi sonucu meydana gelir (Hacısalihoglu, 2011).

Bu nedenle Corine 2012 verisi bu çalışma alanında heyelan duyarlılık analizi için kullanılmıştır. Yapılaşmış alan, tarımsal alan, orman, çıplak alan ve su kütleleri olmak üzere alan 5 sınıf ile temsil edilmiştir (Şekil 2.6). Geliştirilen kullanıcı arayüz programı farklı çalışma alanlarındaki arazi kullanımları içinde uygun olacak şekilde geliştirilmiştir.



**Şekil 2.6** Faya uzaklık (MTA 2005’den elde edilen verilerden faydalanılarak üretilmiştir), akarsuya uzaklık ve arazi kullanımı (Corine 2012’den alınan verilerden faydalanılarak hazırlanmıştır) parametreleri haritaları.

### 2.3.2.7. Yağış Miktarı

Heyelanın belli yamaçlarda oluşmasında bölgenin yağış alması da etkilidir. Yoğun yağış alan yamaçlar nem, bitki örtüsü, organik madde içeriği ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok parametreye de bağlı olarak, hâkim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doymunluğa ulaşır. Bu da boşluk suyu basıncının doymunluğa ulaşmasına neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Buna bağlı olarak da heyelan olma olasılığı artar. Aynı zamanda topografik yükseklik ile ilişkilendirilen yağış miktarı parametresi HDH üretiminde kullanılan ve önerilen bir parametredir. Özellikle yoğun yağışa maruz kalan bölgelerde, heyelan olaylarının daha fazla görülmesi nedeniyle yağış faktörü dikkate alınmıştır. Terrarona vd. (2016), yaptıkları çalışmada yağışın heyelanı tetiklediğini belirtmektedir.

Bu çalışmada MGM'den temin edilen çevredeki istasyonların birkaç yıllık ortalama yağış miktarı verilerine enterpolasyon uygulanarak yağış miktarı haritası elde edilmiş ve eşit aralıklar ile 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2.7). Bu parametre de kullanıcı arayüz programında heyelan duyarlılık analizi için kullanılmıştır.

### 2.3.2.8. Litoloji

Çalışmada dikkate alınan bir diğer parametre de litolojidir. Jeolojik faktörler arasında yer alan bu parametre heyelan oluşumu için yaygın kullanılan önemli bir parametredir. Çünkü farklı özelliğe sahip yapılar heyelan oluşumu için farklı duyarlılığa sahiplerdir. Bununla birlikte birimlerin heyelan kaymasına karşı duyarlılığı da farklıdır. Litolojik anlamda değerlendirilen önemli bir etken de ayrışmadır. Litolojik birim aynı olsa da ayrışma derecesi heyelanı etkilemektedir. Zemini oluşturan malzemelerin tane boyu büyüdükçe, taneler arası boşluk artmaktadır. Bu durum yağışın fazla olduğu bir anda zeminin daha fazla su içermesine ve kayma olasılığının artmasına neden olmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı litoloji parametresinin titizlik ile değerlendirilmesi gerekir (Dağ, 2007).

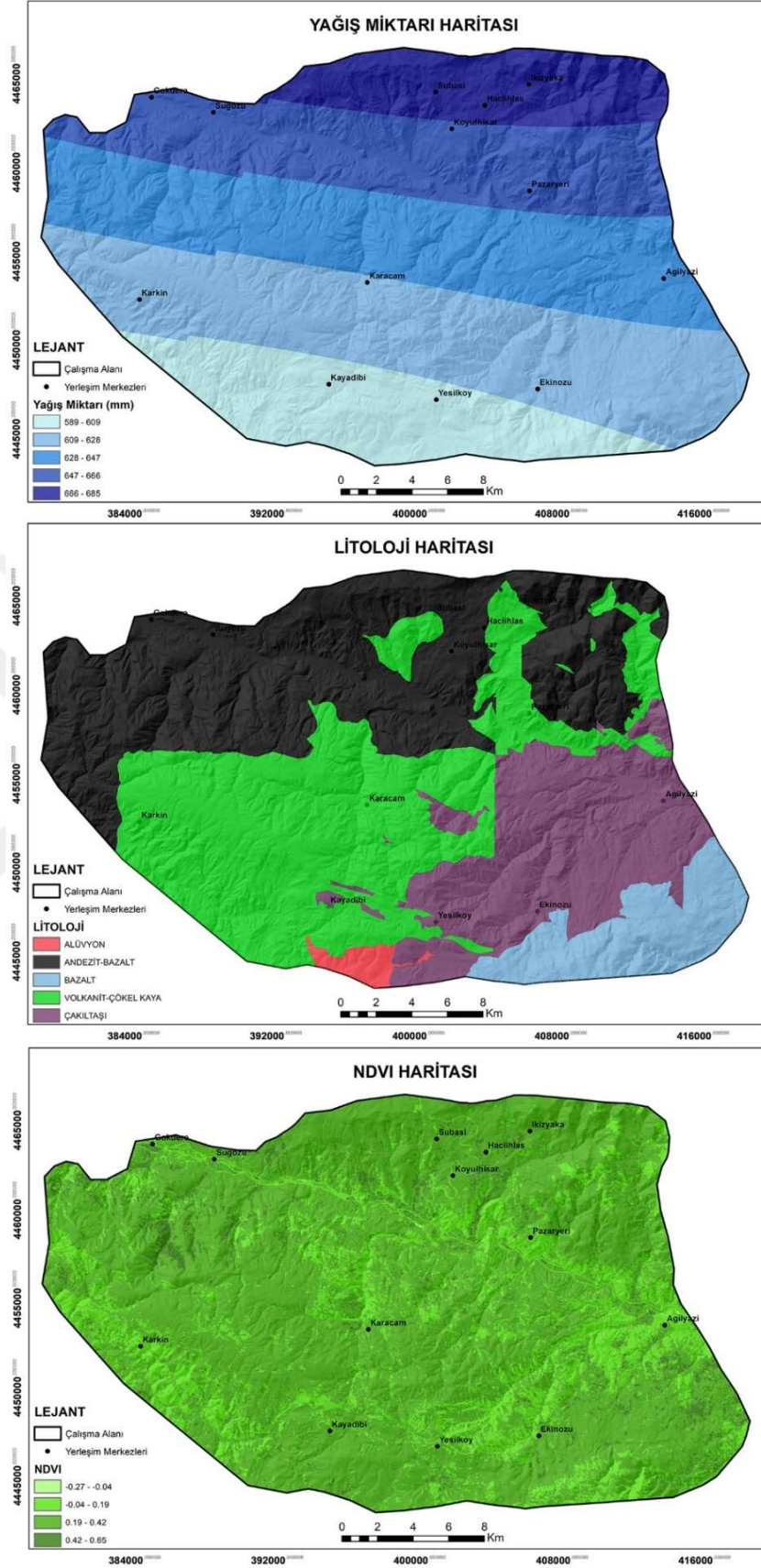
Diğer taraftan bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programında, analiz için kullanılması gereken her litolojik formasyon verisine de uygundur. Bu nedenle ne kadar doğru ve güncel veri kullanılırsa o kadar doğru HDH üretilir.

Bu çalışmada MTA tarafından üretilen litoloji verisi kullanılmıştır. Çalışma alanı 5 farklı formasyondan oluşmaktadır (Şekil 2.7). Bu formasyonlar, geliştirilen kullanıcı arayüz programında heyelan duyarlılık analizinde dikkate alınmıştır. Geliştirilen kullanıcı arayüz programı farklı çalışma alanlarındaki farklı jeolojik formasyonların hesaba katılmasını sağlayabilecek şekilde geliştirilmiştir.

### **2.3.2.9. Bitki Örtüsü**

Bitki örtüsü, toprağı tutması nedeniyle heyelan duyarlılığının araştırılmasında kullanılan önemli çevresel faktörler arasındadır. Özellikle eğimli alanlarda toprağın kaymasına engel olmaktadır. Bununla birlikte bitki örtüsünün heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde ne kadar sağlıklı olduğu vb. özellikleri de önemlidir. Hacısalıhoğlu (2011), Türkiye’de Arazi Kullanımı ve Heyelan İlişkisi: Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği konulu raporunda ülkenin orman bakımından en zengin bölgesi olması nedeniyle heyelanı büyük ölçüde engellediğini belirtmektedir. Ancak, ormanların büyük çapta çay ve fındık gibi toprak koruma işlevi düşük olan bitki örtüsüne dönüştürülmesinin ve bu alanlarda açılan yolların heyelanları artırdığını da vurgulamıştır. Yağışın bitki köklerinden toprağın altına giren yağmur suyu heyelan olma ihtimalini artırmaktadır. Bu nedenle parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gerektiği net olarak ortaya çıkmaktadır.

Bitki örtüsünün belirlenmesi için Landsat 8 uydu görüntüsünün kırmızı (band 4) ve kızıl ötesi (band 5) bantları kullanılarak NDVI analizi yapılmıştır. Böylece çalışma alanının bitki indeksi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler eşit aralıklar ile 4 sınıfa ayrılarak bitki örtüsü haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.7).



**Şekil 2.7** Yağış miktarı (MGM’den alınan verilerden faydalanılarak üretilmiştir), litoloji (MTA’dan alınan verilerden faydalanılarak hazırlanmıştır) ve NDVI (Landsat 8 Uydu Görüntüsünden faydalanılarak üretilmiştir) parametreleri haritaları.

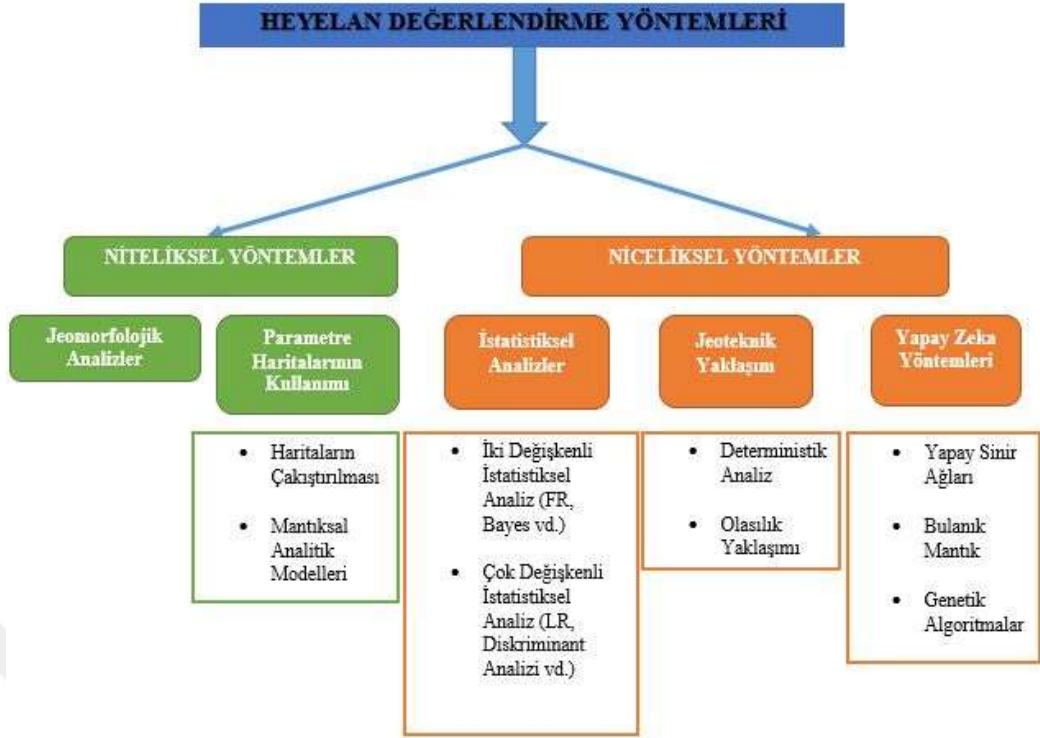
#### **2.4. Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Yöntemler**

Heyelan olayını değerlendirmek için birçok farklı yöntem uygulanmakta ve önerilmektedir. Özellikle günümüz teknolojisinde, heyelan değerlendirmeleri için kullanılan yöntemler artmaktadır. Bununla birlikte heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirilirken bunların dayandığı iki temel varsayım mevcuttur.

- Geçmiş ve bugün geleceğin aynasıdır. Bu nedenle önceden heyelana maruz kalan alanlar gelecekte de heyelana maruz kalabilir.
- Geçmişte ve bugün heyelanın olduğu şartlarda gelecekte de heyelan oluşabilir (Guzzetti vd.,1999; Soeters ve Van Westen, 1996; Aleotti ve Chowdhury, 1999; Ayalew vd., 2004).

Bu değerlendirmeler dikkate alındığında HDH üretmek için basit istatistiksel yaklaşımlardan, karmaşık matematiksel modellemelere kadar birçok farklı yöntem mevcuttur. Heyelan değerlendirmesinde Aleotti ve Chowdury (1999) kullanılan yöntemleri irdelemiştir. Bununla birlikte 2015 yılında AFAD'ın hazırladığı Heyelan-Kaya Düşmesi temel kılavuzunda yaygın olarak kullanılan yöntemler incelenerek ayrıntılandırılmıştır. Bu çalışmalar baz alınarak kullanılan yöntemler Şekil 2.8'de sunulmaktadır.





**Şekil 2.8** Heyelan değerlendirilmede kullanılan parametreler (Aleotti ve Chowdury, 1999; AFAD, 2015'den faydalanılarak uyarlanmıştır).

Niteliksel (Kalitatif) yöntemler doğrudan saha gözlemlerine dayanan ve kişisel bilgi, deneyimleri baz alan yöntemlerdir. Jeomorfolojik ve parametre haritalarının kullanılması diye iki farklı yöntem ile değerlendirilir. Jeomorfolojik analizler önceden meydana gelen heyelanların jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak belirlenir. Parametre haritalarının kullanılması yöntemi ise birçok parametre haritasının alt sınıflarına, ağırlık değerlerinin atanarak, haritaların çakıştırılması esasına dayanır.

Niceliksel (Kantitatif) yöntemler ise istatistiksel analizler, jeoteknik yaklaşımlar ve yapay zeka yöntemleri olmak üzere farklı şekillerde incelenmektedirler. Aynı zamanda çok sayıda parametre dikkate alınarak değerlendirmeler genellikle bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Aynı zamanda bu yöntemler, alandaki koşullar ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi sayısal olarak ortaya koymaktadır (Aleotti ve Chowdhury, 1999). İstatistiksel yöntemlerde geçmişte meydana gelmiş heyelanlar ve buna neden olan parametreler istatistiksel olarak değerlendirilmektedir. İki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel analizler olmak üzere iki yöntemle uygulanmaktadır. Jeoteknik yaklaşımlar ise deterministik ve olasılık analizi çeşitleri ile uygulanmaktadır.

Deterministik analiz çalışma alanının küçük olduğu, jeolojik özelliklerin benzer olduğu ve heyelan türünün değişiklik göstermediği bölgelerde iyi sonuç vermektedir (Dağ, 2007). Olasılık yaklaşımının kullanımı ise genellikle heyelanları tetikleyen parametrelerin, değişimlerini gösterme şeklindedir (Ercanoğlu, 2003). Bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritma yöntemlerini içinde bulunduran yapay zeka yöntemleri ise son yıllarda HDH üretiminde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çoğunlukla insan beyninin çalışma sistemine benzeyen bu yöntemler heyelan gibi doğrusal olmayan davranışların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Dağdelenler (2013) yaptığı çalışmada 32 adet, Dağ (2007) ise 97 adet çalışma incelemiş ve bunları kullanılan yöntemlere göre değerlendirmişlerdir (Şekil 2.9). Literatürde, istatistiksel yöntemlerin daha objektif ve doğru sonuçlar vermesi nedeniyle en fazla kullanılan yöntemler olduğu vurgulanmaktadır. Dağdelenler (2013) ise bu yöntemler arasından LR yönteminin en yaygın olarak kullanılan yöntem olduğunu vurgulamaktadır.



**Şekil 2.9** Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerin istatistiksel değerlendirilmesi (Dağ 2007'den uyarlanmıştır).



Şekil 2.9 da görüldüğü gibi en çok kullanılan parametreler istatistiksel parametrelerdir. Günümüzde de kullanılan çok çeşitli parametreler olmasına rağmen yine istatistiksel parametreler yaygındır. Bir taraftan kullanılabilirliği kolay yöntemler kullanılırken diğer taraftan karmaşık matematiksel işlemler ile gerçekleşen yöntemler heyelan duyarlılık çalışmalarında uygulanmıştır. HDH'nin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi de CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemidir (Kavzoğlu vd., 2010; Boroushaki ve Malczewski, 2008). Son zamanlarda LR ve Coğrafi ağırlıklı regresyon (Erener ve Düzgün, 2007), regresyon ağacı ve LR yöntemleri kullanılmıştır (Kavzoglu vd., 2012). Colkesen vd. (2016) çekirdek tabanlı gaus proses regresyonu ve destek vektör regresyonu yöntemlerini kullanarak LR yöntemi ile karşılaştırmıştır. Yılmaz, (2010) Koyulhisar bölgesinde birkaç yöntemle birlikte LR yöntemini de kullanarak HDH üretmiştir. Aynı zamanda LR yöntemi başka çalışmalarda da sürekli olarak kullanılan ve matematiksel açıdan daha kolay yöntemlerdendir (Duman vd., 2006; Nandi ve Shakoor, 2009; Bai vd., 2011; Dai ve Lee, 2002; Erener ve Lacacesse, 2007).

FR yöntemi ise, kolaylıkla uygulanabilen ve yüksek doğruluk sağlayan yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Lee ve Talib, 2005; Yılmaz, 2009; Lee ve Pardhan, 2006). Heyelan duyarlılığı için kullanılan yöntemlerden bir diğeri de WOFE yöntemidir (Barberi ve Canbuli, 2009; Özdemir, 2011; Regmi vd., 2010). Ayrıca LR, FR ve WOFE yöntemlerinin birlikte uygulandığı çalışmalar da literatürde mevcuttur (Ozdemir ve Altural, 2013; Pradhan ve Lee, 2010).

LR, FR ve Bayes olasılık teoremi ile Artvin ili merkez ilçesinin HDH'si oluşturulmuştur (Akıncı vd., 2014). Altural (2012) yaptığı çalışmada, yine bu üç yöntemi kullanarak (LR, FR ve Bayes) heyelan duyarlılık analizi yapmış ve en doğru sonucu veren yöntemin FR olduğunu vurgulamıştır. Poudyal vd. (2010) FR ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık analizi yapmış ve FR yönteminin daha yüksek doğruluk sağladığını belirtmiştir. Yılmaz (2009), FR, LR ve ANN yöntemlerini karşılaştırdığı çalışmasında ANN yönteminin en yüksek doğruluğu sağladığını belirtmesine rağmen, doğruluğu buna çok yakın olan FR yönteminin kullanılmasını daha pratik ve kolay olması nedeniyle önermektedir.

Bu çalışma kapsamında HDH üretmek için geliştirilen kullanıcı arayüz programında özellikle literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle FR, LR ve WOFE yöntemleri bu çalışma kapsamında hesaba katılmıştır. Aynı zamanda bu üç parametrenin birlikte kullanıldığı çalışmalarda literatürde yaygındır. Bununla birlikte matematiksel olarak karmaşık olan çeşitli yöntemler uygulanırken bunlar genellikle LR yöntemiyle kıyaslanmaktadır. Bu çalışmada da LR yöntemiyle otomatik olarak HDH üretilmesine yönelik kullanıcı arayüz programı geliştirilerek yapılacak olan diğer çalışmalara büyük kolaylık sağlanması hedeflenmiştir.

## **2.5. Frekans Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretmek için Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programı**

Frekans oranı yöntemi geçmişte olan heyelan konumları ile her bir faktörün alt sınıflarının arasındaki ilişkinin araştırılması ile uygulanır. Aradaki bu korelasyonu ortaya koymak için frekans oranı yöntemi uygulanır (Lee ve Min, 2001; Lee ve Pradhan, 2006; Erener ve Düzgün, 2010). Frekans oranı yöntemi uygulanması için belirlenen her bir parametrenin alt sınıflarının FR değeri hesaplanır. Alt katmanların FR değerlerinin hesaplanması için (Erener ve Lacasse, 2007; Ozdemir ve Altural, 2013) aşağıdaki eşitlikten faydalanılır.

$$FR = \frac{\left(\frac{A}{B}\right)}{\left(\frac{C}{D}\right)} \quad [2.1]$$

A= Parametrenin bir alt sınıfı içerisindeki heyelanlı grid sayısı

B= Çalışma alanındaki toplam heyelanlı grid sayısı

C= Parametrenin bir alt sınıfına ait grid sayısı

D= Çalışma alanındaki toplam grid sayısı

Yöntemin uygulanmasında belirtildiği gibi alt sınıfın heyelan envanterleri ile ilişkisi kullanılır. FR değerleri hesaplanarak parametrelerin alt katmanlarına aktarılır. Gerekli katmanlara atanan frekans oranı değerlerinden 1'den büyük olanlar yüksek korelasyonu, 1'den düşük olanlar ise düşük korelasyonu göstermektedir. Yani değer büyüdükçe heyelana olan duyarlılık artmaktadır. FR değerleri kullanılarak HDH oluşturulur (Erener ve Düzgün 2007). HDH, her bir katmana atanan FR değerleri, üst üste toplanarak LSI hesaplanması suretiyle elde edilir (Lee ve Talib, 2005; Lee ve Pardhan 2006).

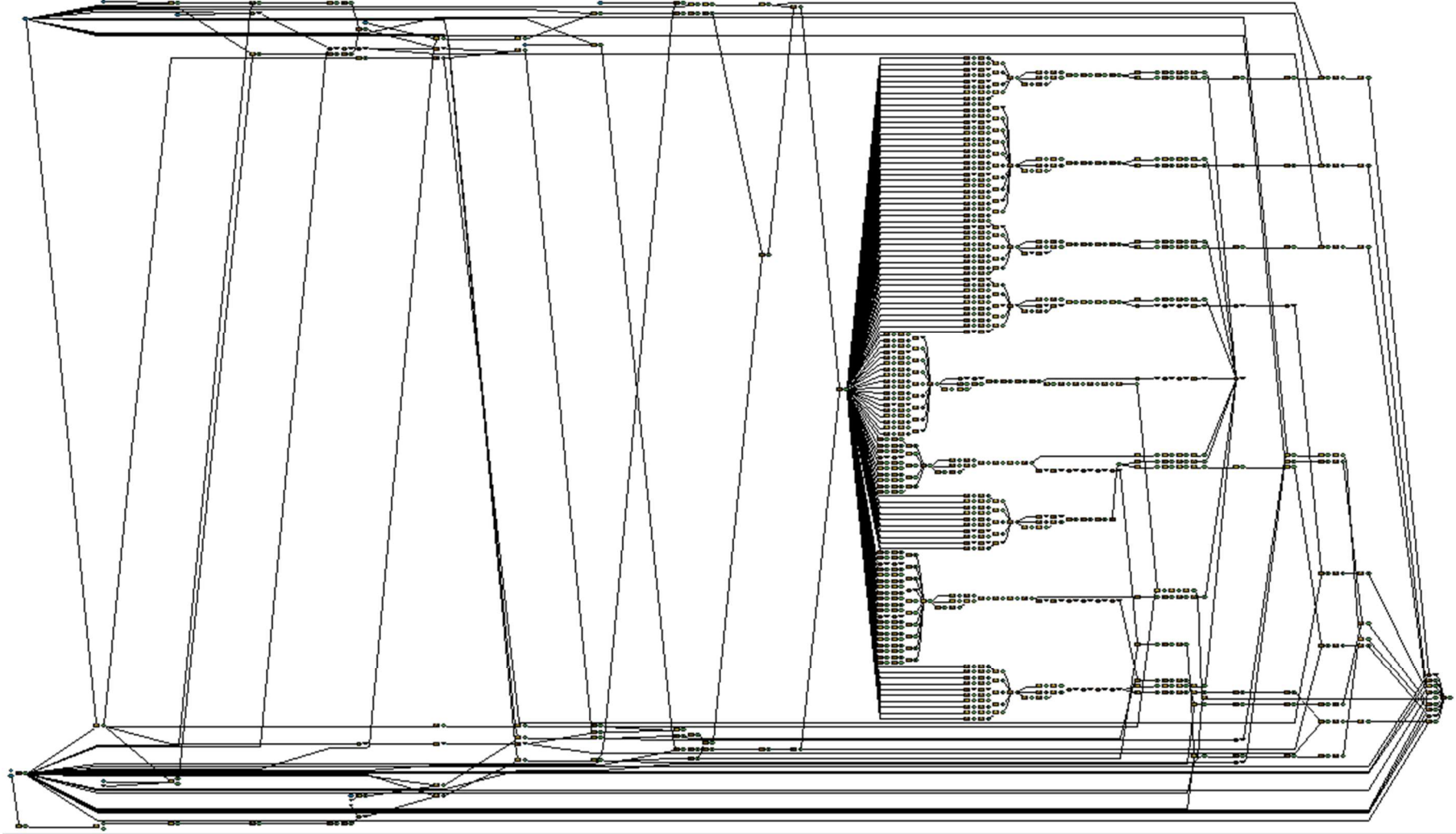
$$LSI = \sum FR \quad [2.2]$$

LSI değeri açık olarak şu şekilde ifade edilebilir;

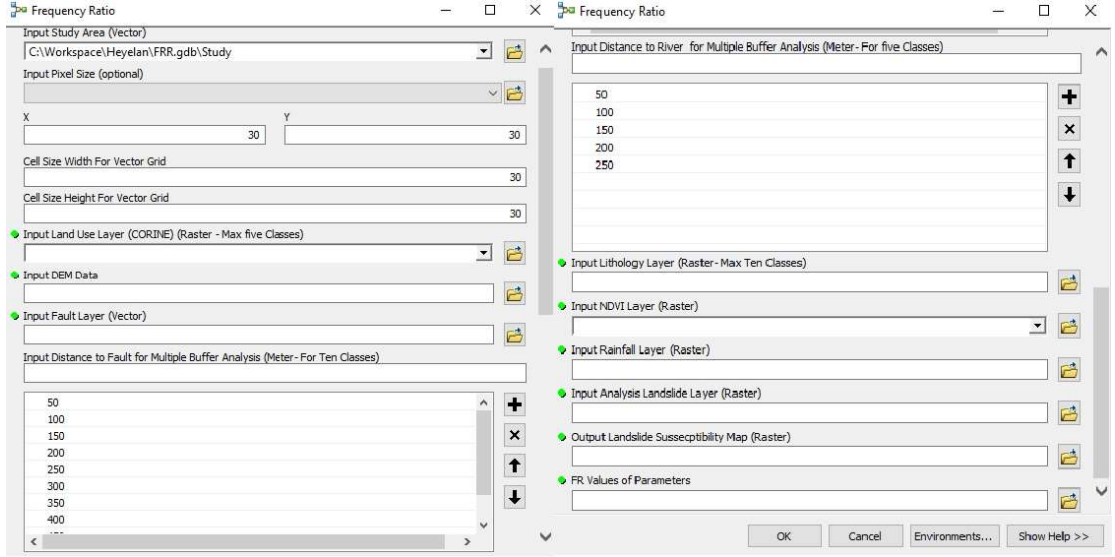
$$LSI = FR_{\text{eğim}} + FR_{\text{bakı}} + FR_{\text{yükseklik}} + FR_{\text{faya uzaklık}} + FR_{\text{akarsuya uzaklık}} + FR_{\text{NDVI}} + FR_{\text{lito}} + FR_{\text{arazi kullanımı}} + FR_{\text{yağış}}$$

Çalışmanın bu adımında anlatılan FR yöntemi için karmaşık coğrafi analiz işlemlerinin kolaylıkla gerçekleştirilmesine olanak sağlayan 'Frequency Ratio' (Frekans Oranı) adında kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir (ArcGIS 10.3 ve Model Builder). Geliştirilen bu programlar, dünyanın her yerinde heyelan duyarlılık analizini FR yöntemiyle otomatik olarak gerçekleştirilebilmesini sağlayabilecek niteliktedir. Çalışmada dikkate alınan 9 parametreye uygun olarak geliştirilen kullanıcı arayüz programı (Şekil 2.10, Şekil 2.11), bu parametre haritalarının her birini uygun girdileri yüklemek suretiyle kendisi otomatik oluşturmaktadır.

Örneğin; SAM girdi verisinden akarsu ağı otomatik oluşturulmakta ve akarsulara tampon bölge analizi yine otomatik olarak uygulanmaktadır. Bir diğer örnek olarak, fay haritası geliştirilen programa girdi olarak gösterilmekte ve program bunu uygun formatlara getirerek tampon bölge analizini otomatik gerçekleştirmektedir. Örneklerde olduğu gibi HDH üretmek için tüm girdi verileri belirlenip "OK" tuşuna basıldığında coğrafi sorgulama ve analiz işlemleri otomatik olarak arayüz programı tarafından gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.10 Geliştirilen 'Frequency Ratio' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.



**Şekil 2. 21** Geliştirilen 'Frequency Ratio' programına ait arayüz.

Bu kullanıcı arayüz programı ile her bir parametrenin alt sınıfları ve parametrelere ait bu alt sınıfların FR değerleri tam otomatik olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca geliştirilen kullanıcı arayüz programı, haritaların tümünü çalışma alanına göre keserek mekânsal çözünürlüklerinin aynı olmasını sağlamaktadır. Bilindiği üzere en son haritalar çakıştırılırken her birinin bahsedilen niteliklerinin aynı olması gerekmekte olup program buna imkân vermektedir. FR değerlerinin ve HDH'nin tam otomatik olarak üretilmesi için geliştirilen kullanıcı arayüz programında; Extract, Overlay, Proximity, Statistics, From Raster, To Raster, Create Fishnet, Features, Fields, Joins, Layers Table Views, General, Raster Processing, Table, Conditional, Hydrology, Map Algebra, Math, Reclass, Surface ve Zonal statistic gibi coğrafi analizler ve sorgulamalar kullanılmıştır.

Sonuç olarak geliştirilen kullanıcı arayüz programı, dünyanın her yerinde kullanılabilecek şekilde esnek bir yapıya sahip olarak geliştirilmiştir. Program, parametreleri FR yöntemine göre değerlendirip her bir alt sınıfın ağırlık değerini hesaplayarak (Çizelge 2.2) HDH'yi otomatik olarak üretmektedir.

**Çizelge 2.2** Geliştirilen 'Frequency Ratio' kullanıcı arayüz programı çıktısı, parametrelerin FR değerleri

Parametre	Sınıf	FR
Yükseklik (m)	581 – 952	0.688
	952 - 1323	1.488
	1323 - 1693	1.239
	1693 - 2064	0.482
	2064 - 2435	0.077
Eğim (Degree)	0 - 10	1.352
	10 - 21	0.908
	21 - 32	0.750
	32 - 43	0.520
	43 - 54	1.103
Akarsuya Uzaklık	50	1.190
	100	1.079
	150	1.061
	200	0.919
	250	0.801
Faya Uzaklık	50	0.898
	100	0.929
	150	1.004
	200	1.038
	250	0.986
	300	0.940
	350	1.085
	400	1.119
	450	1.052
500	1.076	
Arazi Kullanımı	Yapılaşmış Alanlar	1.832
	Tarımsal Alanlar	1.933
	Su Kütleleri	0.274
	Ormanlar	0.702
	Çıplak Alan	0.387
Yağış Miktarı (mm)	589 - 609	0.453
	609 - 628	1.492
	628 - 647	0.382
	647 - 666	0.873
	666 - 685	2.116
Bakı (Derece)	Düz	0.389
	Kuzey	0.842
	Kuzeydoğu	0.847
	Doğu	0.886
	Güneydoğu	1.081
	Güney	1.008
	Güneybatı	0.839
	Batı	0.946
Litoloji	Kuzeybatı	1.050
	Alüvyon	0
	Andezit-Bazalt	0.915
	Bazalt	2.368
	Volkanit-Çökel Kaya	0.591
NDVI	Çakıltası	1.373
	-0.27 - -0.04	0.196
	-0.04 - 0.19	0.803
	0.19 - 0.42	0.954
	0.42 - 0.65	1.905

Kullanıcı arayüz programı ile üretilen her bir parametreye ait alt sınıfının FR değerlerine bakılarak, parametre sınıflarının heyelana olan duyarlılığı tespit edilebilir. Yükseklik parametresinde en fazla heyelana yatkın olan sınıf 952 m ile 1323 m arasındadır. Eğim parametresine göre heyelana olan duyarlılık en fazla 0.02° ile 10.95° aralığındadır. Eğim artarken heyelana olan duyarlılık azalmakta ve daha sonra tekrar artış göstermektedir. Akarsuya uzaklık parametresine göre heyelan duyarlılığı 0 m ile 50 m arasındadır. Faya uzaklıkta ise 350 m ile 400 m arasında en fazla heyelan duyarlılığı görülmektedir. Arazi kullanımı için tarım alanları ve yapılaşmış alanlar en büyük heyelan duyarlılığına sahip iken yağış faktöründe ise en fazla yağış aralığı duyarlılığın en fazla olduğu sınıftır. Bakı parametresine göre en fazla heyelan duyarlılığı güney doğu bakısına sahip bölgededir. Litoloji parametresinde heyelan duyarlılığının en fazla olduğu yapı bazalt sınıfındadır. Son olarak NDVI parametresinde duyarlılığın en fazla olduğu sınıf ise 0.42 ile 0.65 indeksi arasındadır.

Çalışma kapsamında 9 parametre kullanılmıştır. Yukarıdaki 2.2 eşitliğinde de belirtildiği gibi kullanıcı arayüz programında her bir alt sınıfa atanmış olan FR değerleri çakıştırılarak toplanmış ve LSI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu LSI değerlerinin 4.22 ile 14.04 arasında değiştiği tespit edilmiştir. HDH üretildikten sonra bu sınıfı belli duyarlılıklara göre sınıflandırmak gerekmektedir. Burada oluşturulan HDH, heyelanlı alanları belirlemek için doğal kesme (natural break) yöntemi ile 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı alanlar olarak belirlenmiştir.

## **2.6. Weight of Evidence Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretmek için Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programı**

WOFE yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri olup matematiksel temeli Chung ve Fabbri (1999) ile Van Westen vd. (2003) tarafından belirlenmiştir. Bu yöntem Bayes teoremi olarak da bilinmektedir. WOFE yöntemi, olasılığa dayanarak hesaplanır ve bir olayın gerçekleşme ihtimali ile ilgili çeşitli olasılıklar kurulur. Buna bağlı olarak çalışma alanında baz alınan her bir faktörün özelliğine bakılıp, aynı özelliklerde gelecekte heyelan olacağı yada olmayacağı belirtilir.

Seçilen parametrelerin alt sınıfları heyelan olma veya heyelan olmama durumuna göre değerlendirilir. Heyelan olan ve heyelan olmayan alanlarda heyelana etkisi olan her bir faktörün heyelana katkısının belirlenmesi ilkesine dayanır.

Çalışma alanında gelecekte heyelan olacağını öngören tahminler pozitif ağırlıklar, olmayacağını gösteren ağırlıklar ise negatif ağırlıklar olarak adlandırılır. HDH üretmek için kullanılan parametrelerin alt sınıflarının ağırlık değerleri WOFE yöntemi ile hesaplanırken aşağıda verilen eşitlikler kullanılır (Regmi vd., 2010).

$$W^+ = \ln \left[ \frac{A1}{\frac{A2}{\frac{A3}{A4}}} \right] \quad [2.3]$$

$$W^- = \ln \left[ \frac{A5}{\frac{A2}{\frac{A6}{A4}}} \right] \quad [2.4]$$

$$C = W^+ - W^- \quad [2.5]$$

A1= Bir parametrenin bir alt sınıfındaki heyelanlı grid sayısı

A2= Çalışma alanındaki toplam heyelanlı grid sayısı

A3= Parametrenin bir alt sınıfındaki heyelansız grid sayısı

A4= Çalışma alanındaki toplam heyelansız grid sayısı

A5= Diğer sınıflar içerisindeki toplam heyelanlı grid sayısı

A6= Diğer sınıflar içerisindeki toplam heyelansız grid sayısı

$W^+$ = Bir parametrenin bir alt sınıfının heyelan olma olasılığını gösteren pozitif ağırlık

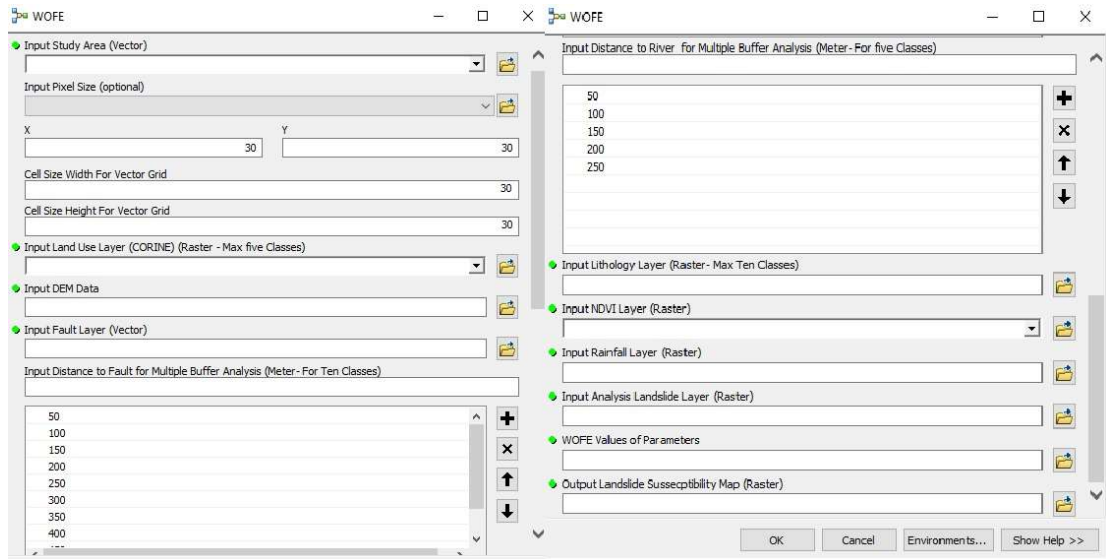
$W^-$ = Bir parametrenin bir alt sınıfının heyelan olmama olasılığını gösteren negatif ağırlık

C = Heyelan olma olasılığının ağırlık değeri

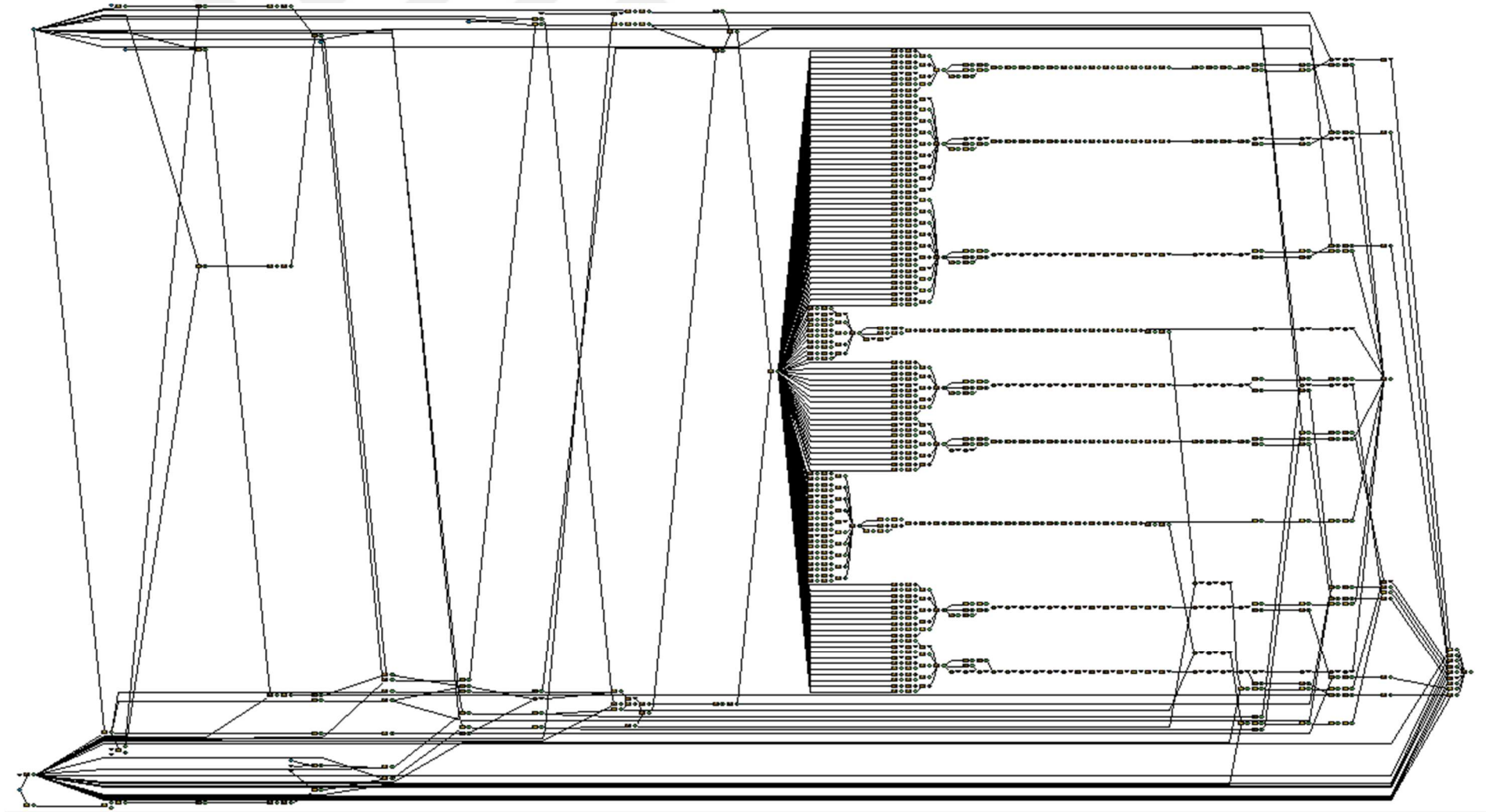


$W^+$  ve  $W^-$  arasındaki fark ( $C$ ) ise heyelan olabilme veya olamama ölçüsünü gösteren ağırlık değeridir. Burada  $C$ 'nin değeri 0'a yaklaştıkça alt sınıfın etkisi azalmaktadır. Pozitif değer heyelana olan etkinin arttığını, negatif değer ise etkinin azaldığını belirtmektedir.  $C \geq 2$  olması parametrenin heyelan oluşmasına yüksek oranda katkı sağladığını göstermektedir (Barbieri ve Cambuli 2009).

Çalışmanın bu adımında açıklanan WOFE yöntemi için karmaşık coğrafi analiz işlemlerinin kolaylıkla gerçekleştirilmesine olanak sağlayan 'WOFE' (Weight of Evidence) isimli kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir (ArcGIS 10.3 ve Model Builder). Geliştirilen bu program dünyanın her yerinde heyelan duyarlılık analizi çalışmalarının WOFE yöntemiyle gerçekleştirilebilmesini sağlayabilecek niteliktedir. Çalışmada dikkate alınan 9 parametreye uygun geliştirilen kullanıcı arayüz programı (Şekil 2.12, Şekil 2.13), uygun girdileri yüklemek suretiyle bu parametre haritalarının her birini otomatik olarak oluşturmaktadır. Örneğin; SAM girdi verisinden akarsu ağı otomatik oluşturulmakta ve akarsulara tampon bölge analizi yine otomatik olarak uygulanmaktadır. Bir diğer örnek olarak, fay haritası geliştirilen programa girdi olarak gösterilmekte ve program bunu uygun formatlara getirerek tampon bölge analizini otomatik gerçekleştirmektedir. Örneklerde olduğu gibi HDH üretmek için tüm girdi veriler belirlenip "OK" tuşuna basıldığında coğrafi sorgulama ve analiz işlemleri otomatik olarak arayüz programı tarafından gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.12 Geliştirilen 'WOFE' programına ait arayüz.



Şekil 2.13 Geliştirilen 'WOFE' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.

Bu kullanıcı arayüz programının çalıştırılması sonucunda her bir parametrenin alt sınıfları ve bu parametrelere ait alt sınıfların C değerleri tam otomatik olarak hesaplanmaktadır (Çizelge 2.3). Ayrıca geliştirilen kullanıcı arayüz programı, haritaların tümünü çalışma alanına göre keserek mekânsal çözünürlüklerinin aynı olmasını sağlamaktadır. Bilindiği üzere en son haritalar çakıştırılırken her birinin bahsedilen niteliklerinin aynı olması şarttır ve kullanıcı arayüz programı buna imkân vermektedir. WOFE tekniği ile C değerlerinin ve HDH'nin tam otomatik olarak üretilmesi için geliştirilen kullanıcı arayüz programında; Extract, Overlay, Proximity, Statistics, From Raster, To Raster, Create Fishnet, Features, Fields, Joins, Layers Table Views, General, Raster Processing, Table, Conditional, Hydrology, Map Algebra, Math, Reclass, Surface ve Zonal statistic gibi coğrafi analizler ve sorgulamalar kullanılmıştır. Sonuç olarak burada geliştirilen kullanıcı arayüz programı, parametreleri WOFE yöntemine göre değerlendirmekte ve her bir alt sınıfın ağırlık değerlerini hesaplayarak HDH'yi otomatik olarak üretmektedir.

Kullanıcı arayüz programı ile üretilen her bir parametreye ait alt sınıfının WOFE (C) değerlerine bakılarak, parametre sınıflarının heyelana olan duyarlılığı yorumlanabilir. Yükseklik parametresinde en fazla heyelana yatkın olan sınıf 952 m ile 1323 m arasındadır. Eğim parametresine göre heyelana olan duyarlılık en fazla 0.02° ile 10.95° aralığındadır. Eğim artarken heyelana olan duyarlılık azalmakta ve daha sonra tekrar artış göstermektedir. Akarsuya uzaklık parametresine göre heyelan duyarlılığı 0 m ile 50 m arasındadır. Faya uzaklıkta ise 350 m ile 400 m arasında en fazla heyelan duyarlılığı görülmektedir. Arazi kullanımı için tarım alanları ve yapılaşmış alanlar en büyük heyelan duyarlılığına sahip iken yağış faktöründe ise en fazla yağış aralığı duyarlılığın en fazla olduğu sınıftır. Bakı parametresine göre en fazla heyelan duyarlılığı güney doğu bakısına sahip bölgededir. Litoloji parametresinde heyelan duyarlılığının en fazla olduğu yapı bazalt sınıfındadır. Son olarak NDVI parametresinde duyarlılığın en fazla olduğu sınıf ise 0.42 ile 0.65 indeksi arasındadır.

**Çizelge 2.3** Geliştirilen ‘WOFE’ kullanıcı arayüz programı çıktısı, parametrelerin C (WOFE) değerleri

Parametre	Sınıf	C
Yükseklik (m)	581 – 952	-0.431
	952 - 1323	0.571
	1323 - 1693	0.337
	1693 - 2064	-0.885
	2064 - 2435	-2.582
Eğim (Degree)	0 - 10	0.535
	10 - 21	-0.133
	21 - 32	-0.368
	32 - 43	-0.698
	43 - 54	0.098
Akarsuya Uzaklık	50	0.225
	100	0.095
	150	0.072
	200	-0.101
	250	-0.290
Faya Uzaklık	50	-0.125
	100	-0.085
	150	0.005
	200	0.042
	250	-0.015
	300	-0.068
	350	0.089
	400	0.121
	450	0.054
500	0.082	
Arazi Kullanımı	Yapılaşmış Alanlar	0.608
	Tarımsal Alanlar	1.151
	Su Kütleleri	-1.299
	Ormanlar	-0.605
	Çıplak Alan	-1.097
Yağış Miktarı (mm)	589 - 609	-0.883
	609 - 628	0.618
	628 - 647	-1.155
	647 - 666	-0.166
	666 - 685	0.900
Bakı (Derece)	Düz	-0.201
	Kuzey	-0.076
	Kuzeydoğu	-0.182
	Doğu	-0.135
	Güneydoğu	0.087
	Güney	0.009
	Güneybatı	-0.191
	Batı	-0.063
Litoloji	Kuzeybatı	0.057
	Alüvyon	0
	Andezit-Bazalt	-0.133
	Bazalt	0.993
	Volkanit-Çökel Kaya	-0.732
NDVI	Çakıлтаşı	0.413
	-0.27 - -0.04	-1.630
	-0.04 - 0.19	-0.338
	0.19 - 0.42	-0.091
	0.42 - 0.65	0.765

Yukarıda 2.5 eşitliğinde de görüldüğü üzere kullanıcı arayüz programında her bir alt sınıfa atanmış olan C değerleri çakıştırılarak toplanmış ve HDH elde edilmiştir. Bu işlemler kullanıcı arayüz programında otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. HDH ürettikten sonra bu sınıfı belli duyarlılıklara göre sınıflandırmak gerekmektedir. Burada oluşturulan HDH, heyelanlı alanları belirlemek amacıyla doğal kesme (natural break) yöntemi ile 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar duyarlı, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı alanlar olarak belirlenmiştir.

## **2.7 Lojistik Regresyon Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretmek için Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programı**

Çoklu lojistik regresyon yöntemlerinden birisi olan LR yöntemi istatistiksel olarak heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir. LR analizi değişkenlerin kategorik olduğu zamanlarda kullanılmaktadır (Kleinbaum vd., 1998; Altural, 2012).

LR analizi bağımsız birçok değişken ile bağımlı birden fazla değişken arasında söz konusudur. Bu durum bir olaya sebep olan olayların birden fazla olduğu anlamına gelmektedir. Heyelana sebep olan parametreler birden fazla iken heyelan meydana gelme olayı tek bir değişken olduğu için LR analizi uygulanarak HDH üretilebilir. LR yöntemi, bağımlı bir değişken ve bağımsız birden fazla değişken arasındaki çok değişkenli regresyon analizi yapılmasına imkân sağlamaktadır (Lee, 2005). LR kapsamında bağımlı değişken verisi 0 veya 1 olmalıdır. Aynı zamanda LR katsayıları kurulan modelde her bir bağımsız değişkenin elde edilmesini sağlar. Hosmer ve Lemeshow (1989) LR analizini ayrıntılı olarak açıklamıştır. LR analizine ait genel eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$P = \frac{1}{(1+e^{-Y})} \quad [2.6]$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad [2.7]$$

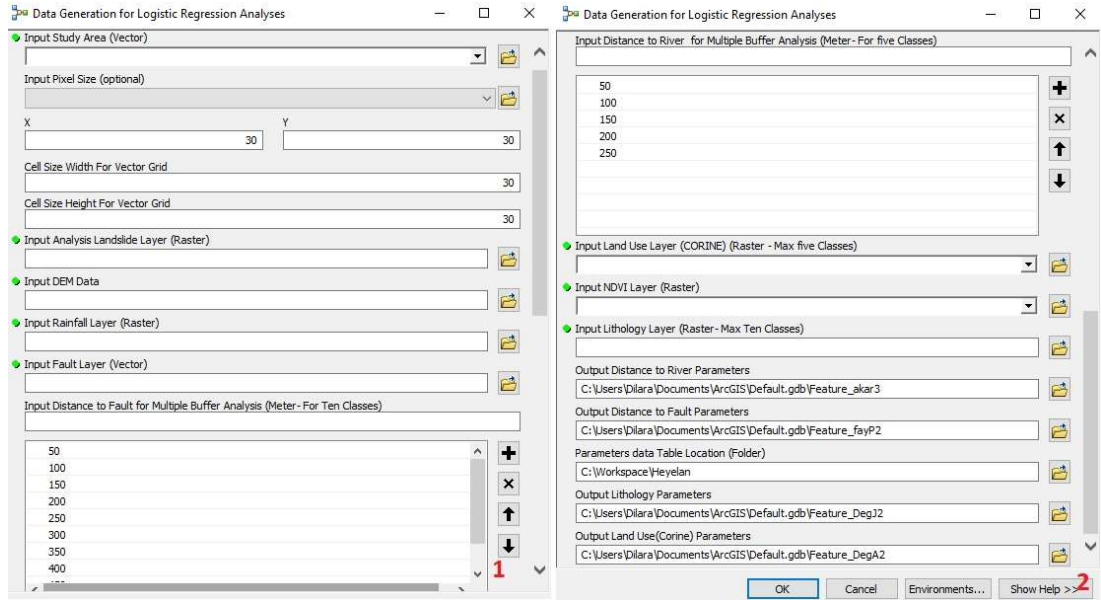
Burada P, heyelan olayının meydana gelme olasılığını göstermekte olup olasılık değeri 0 ile 1 arasında değişen bir eğriyi temsil etmektedir. Aynı zamanda 2.6 eşitliğinde geçen Y ifadesi, yine 2.7 eşitliğindeki Y değerine karşılık gelmektedir. Burada vurgulanan  $\beta_0$ , modelin sabiti veya bağımsız değişkenlerin sıfır değeri aldığı zamanki bağımlı değişken değeridir.  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  değerleri bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarını,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ise bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Y ise bağımlı değişken olan heyelan durumunu ifade etmektedir. Bu model heyelanın bağımsız değişkenler üzerindeki heyelan var (1) ve heyelan yok (0) durumunu göstermektedir. Buna bağlı olarak ikili (binary) lojistik regresyon söz konusudur.

LR yöntemi ile HDH oluşturulurken öncelikle parametreler yani bağımsız değişkenler belirlenir. Bununla birlikte heyelan olma veya olmama durumuna bağlı olarak bağımlı değişken düzenlenir. Belirlenen bu değerler ile LR eşitliğinden yararlanılarak HDH üretmek için ihtiyaç duyulan ve her bir parametrenin etkisini gösteren beta ( $\beta$ ) katsayısı hesaplanır.  $\beta$  katsayısının yorumlanması için P ve Se değerleri dikkate alınır. Bu değerler hem modelin hem de kullanılan parametrelerin uygunluğunu göstermektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programı ile bu değerler üretilmektedir. 'P' (significance) değeri parametrelerin bağımlı değişken üzerindeki anlamlılık düzeyidir. P değerinin % 95 güven aralığı için 0.05 den küçük olması parametrenin bağımlı değişken üzerinde anlamlı olduğunu gösterir. Bu değer sıfıra ne kadar yakın olursa anlamlılık düzeyi o kadar artmaktadır. Bir diğer değer olan tahmini standart hatanın (Se) sıfıra yakın olması, elde edilen parametrelerin tahmini için önemlidir.

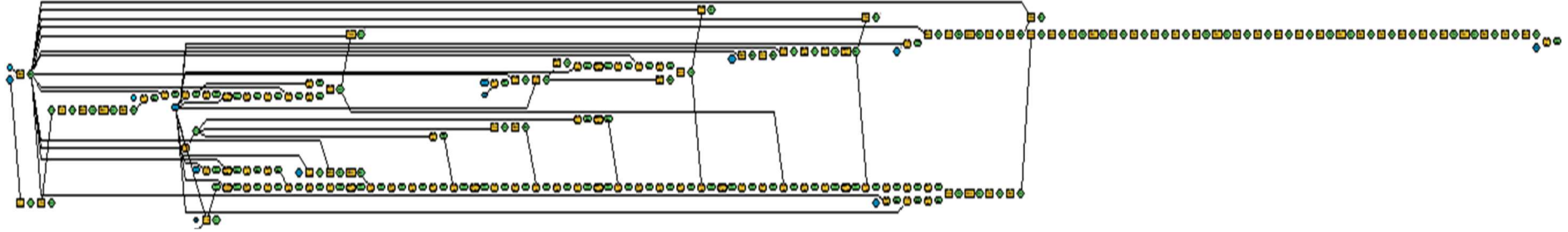
Çalışmanın bu adımında anlatılan LR yöntemi için karmaşık coğrafi analiz işlemlerinin kolaylıkla gerçekleştirilmesine olanak sağlayan kullanıcı arayüz programları geliştirilmiştir (ArcGIS 10.3, Model Builder – Matlab, Gui ). Geliştirilen bu programlar dünyanın her yerinde heyelan duyarlılık analizi çalışmalarının LR yöntemiyle gerçekleştirilebilmesini sağlayabilecek niteliktedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programı gerekli girdi verilerini göstermek suretiyle parametre haritalarının her birini otomatik olarak oluşturmaktadır. Örneğin; SAM girdi verisinden akarsu ağı otomatik oluşturulmakta ve buna tampon bölge analizi yine otomatik gerçekleştirilmektedir.

HDH üretimi için tüm girdi veriler gösterildiğinde, arayüz içinde birtakım işlemler gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen arayüzlerde öncelikle LR analizine sokmak üzere verilerin üretimi gerekmektedir. Analiz için bir girdinin bağımlı ve bağımsız değişken değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağımlı değişken daha öncede vurgulandığı gibi heyelan durumu iken bağımsız değişkenler çalışma kapsamında hesaba katılan 9 parametredir.

ArcGIS Model builder da ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ (LR analizi için veri üretimi) adında bir kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir (Şekil 2.14, Şekil 2.15). Yukarıda belirtildiği gibi gerekli olan girdi verilerin gösterilmesi suretiyle LR analizi için gerekli olan veri tablosu bu arayüz programı ile otomatik olarak üretilmektedir (Çizelge 2.4). Ayrıca geliştirilen kullanıcı arayüz programı, haritaların tümünü çalışma alanına göre keserek mekânsal çözünürlüklerinin aynı olmasını sağlamaktadır. Bilindiği üzere bu verilerin doğru gridleri temsil ederek oluşturulması için her birinin bahsedilen niteliklerinin aynı olması şarttır ve kullanıcı arayüz programı bunu sağlamaktadır.



Şekil 2.34 Geliştirilen ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ programına ait arayüz.



Şekil 2.5 Geliştirilen ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.

Çizelge 2.4 Geliştirilen ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ kullanıcı arayüz programı çıktısı, LR analizi için gerekli olan veri tablosu

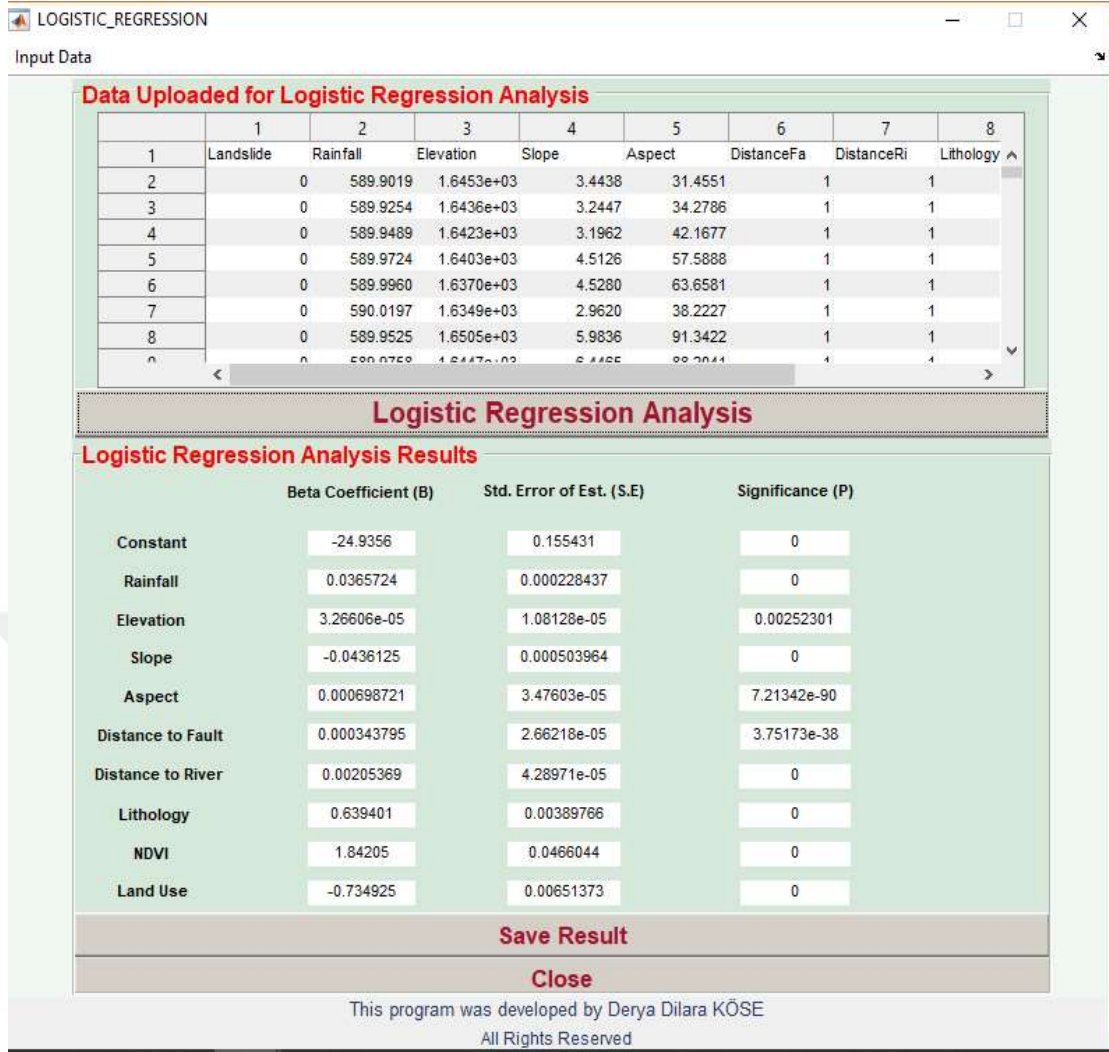
Landslide	Rainfall	Elevation	Slope	Aspect	DistanceFa	DistanceRi	Lithology	NDVI	LandUse
0	597.347351	1915.064209	15.514519	237.848434	150	150	5	0.335013	3
0	597.377991	1923.14209	7.609602	217.947525	150	100	5	0.352317	3
0	597.408569	1923.120361	6.359267	144.565918	150	50	5	0.335753	3
0	597.43927	1918.97998	6.91281	148.179443	150	50	5	0.267573	3
0	597.46991	1918.673096	4.739804	187.45607	200	50	5	0.239747	3
0	597.50061	1920.157715	7.588368	253.257034	200	50	5	0.251152	3
0	597.531311	1925.164795	10.416464	275.054047	200	50	5	0.253807	3
0	597.562012	1930.343506	10.559553	277.259033	200	50	5	0.229668	3
0	597.592712	1935.928711	12.845697	298.137024	200	50	5	0.249467	3
0	597.623474	1943.319092	20.071089	311.686676	250	50	5	0.209397	3
0	597.654236	1953.919678	24.509468	318.17041	250	50	5	0.19265	3
0	597.685059	1962.402344	23.348787	329.121582	250	100	5	0.232824	3
0	597.71582	1966.805786	20.854506	337.576172	250	150	5	0.255794	3
0	597.746643	1970.335693	18.906471	337.287018	300	150	5	0.252559	3
0	597.777466	1974.406128	17.0833	335.974945	300	200	5	0.224479	3
0	597.80835	1978.640503	15.98865	326.598236	300	200	5	0.195572	3
0	597.839172	1985.444092	15.336574	309.163513	300	250	5	0.27594	3
0	597.870056	1992.631226	11.810506	295.544464	350	250	5	0.291346	3



Çizelge 2.4’de gösterilen ve geliştirilen kullanıcı arayüz programının çıktısı olan tablo, LR analizinde kullanılacak veri tablosunun küçük bir kısmını ifade etmektedir. Çalışma alanının tümünü kapsayan verinin LR analizi için gerekli olan bağımlı ve bağımsız değerler tablosu otomatik olarak üretilmiştir. Burada 9 parametrenin de olması gereken değerleri görülmektedir. Sayısal olarak ifade edilen eğim ve yağış gibi parametrelerin o gride düşen değerleri tabloda bulunmaktadır. Litoloji ve arazi kullanımı gibi kategorik ifadeleri barındıran parametre alt sınıfları, arayüz içerisinde her birini temsil eden sayısal değerler ile gösterilmiştir. Yine bağımlı değişken olan heyelan da var 1 yok 0 olarak arayüz içerisinde kodlanmıştır.

Çalışmanın devamında LR analizini gerçekleştirmek üzere Matlab da LR yönteminin matematiksel algoritması kodlanarak ‘Logistic Regression’ (Lojistik Regresyon) adında bir kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir (Şekil 2.16). Program arayüzü, gerekli yönlendirmelerle verilerin yüklenmesinden analizin gerçekleştirilip üretilen sonuçların kayıt edilmesine kadar gerekli tüm işlemleri kolaylıkla ve tam otomatik olarak sağlamaktadır. Geliştirilen bu arayüz, ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ programından sonuç olarak üretilen veri tablosunun yüklenmesi suretiyle çalışmaktadır. Geliştirilen bu arayüz programı sonucunda CBS ortamındaki HDH’yi üretmek için gerekli olan  $\beta$  katsayıları üretilmektedir. LR analizi programı çalıştırıldıktan sonra, bu programda üretilen değerler ( $\beta$ , P, Se) yine gerekli yönlendirmeler ile kayıt edilip sonuç HDH’yi üretmek üzere geliştirilen kullanıcı arayüz programı için hazır hale getirilmektedir.

Matlab da geliştirilen bu kullanıcı arayüz programına ‘Data Generation for Logistic Regression Analyses’ arayüzü sonuç verisi yüklenerek  $\beta$  katsayıları üretilmiştir (Çizelge 2.5).



Şekil 2.46 LR analizini gerçekleştirmek üzere Matlab da geliştirilen ‘Logistic Regression’ adındaki kullanıcı arayüz programı.

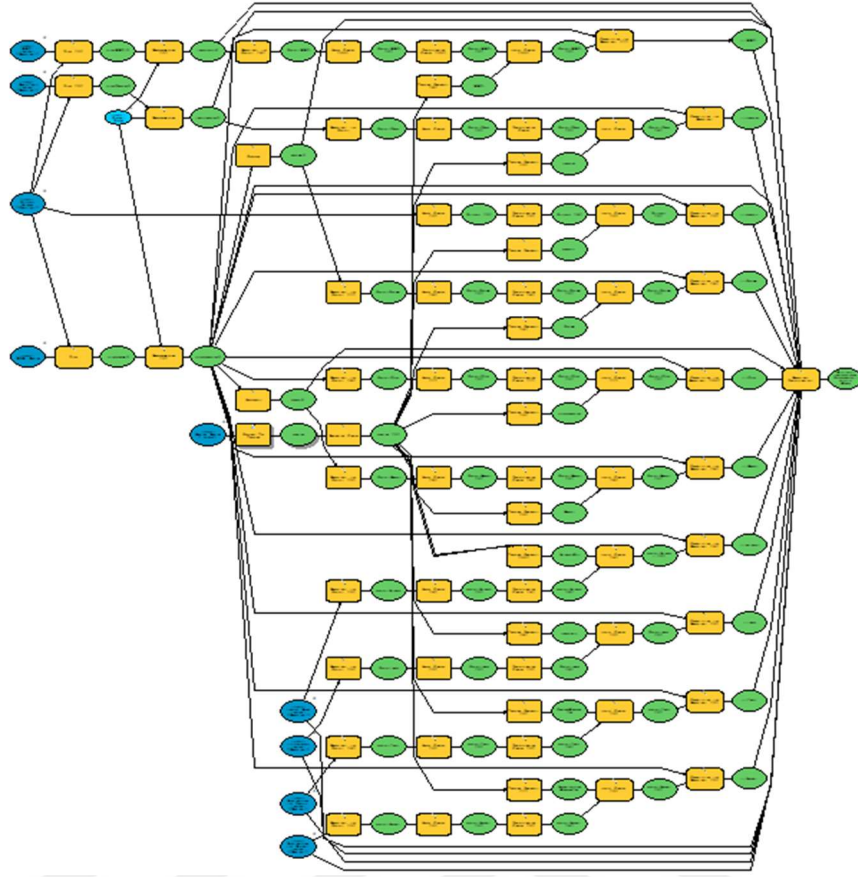
Çizelge 2.5 Matlab da Geliştirilen ‘Logistic Regression’ kullanıcı arayüz programı çıktısı,  $\beta$  katsayıları

	Beta	Se	P
Constant	-24.9356	0.155431	0
Rainfall	0.036572	0.000228	0
Elevation	3.27E-05	1.08E-05	0.002523
Slope	-0.04361	0.000504	0
Aspect	0.000699	3.48E-05	7.21E-90
Distance to Fault	0.000344	2.66E-05	3.75E-38
Distance to River	0.002054	4.29E-05	0
Lithology	0.639401	0.003898	0
NDVI	1.842047	0.046604	0
LandUse	-0.73493	0.006514	0

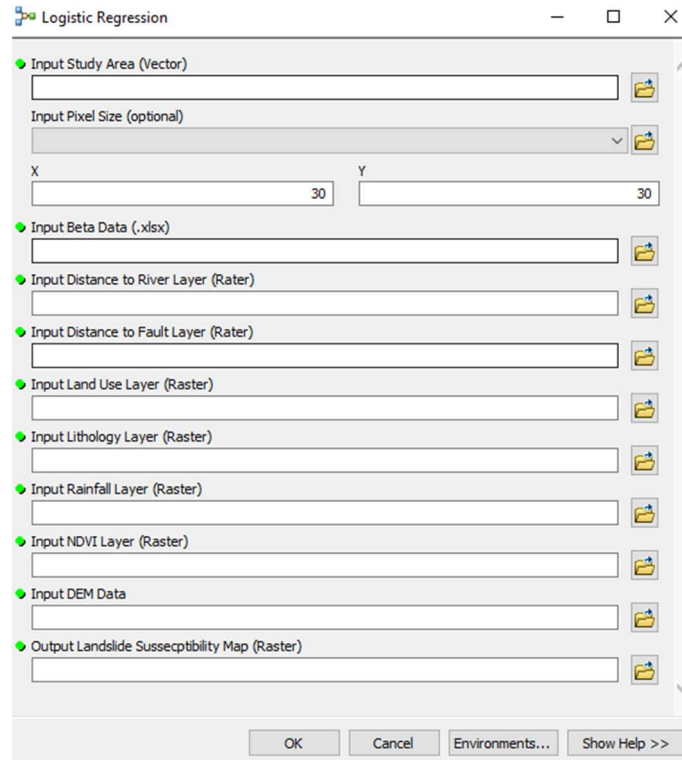
Böylece HDH oluşturmak için gerekli olan  $\beta$  katsayıları, kurulan modelin anlamlılığını gösteren P değerleri ve standart hatayı ifade eden Se değerleri üretilmiştir. Bu değerler 9 parametrenin her birisi için oluşturulmuş ve heyelana olan etkileri LR yöntemiyle ortaya konulmaktadır. Burada yorumlama işlemleri 0 dan 1'e yani heyelan olmama durumundan olma durumuna göre yapılmaktadır. Yani bir parametrenin değerindeki her bir artışta  $\beta$  katsayısına bakılarak heyelan duyarlılığının arttığı veya azaldığı söylenebilir. Bu durumda değer '+' ise her bir birim değişiminde heyelan duyarlılığı artarken, tam tersi '-' olması durumunda azalmaktadır.

HDH'yi LR yöntemi ile üretmek için arayüz programı kendi içerisinde girdi verisi olarak gösterilen  $\beta$  katsayıları ile gerekli olan her bir parametre değerinin çarpılması daha sonrada bu parametrelerin üst üste toplanması gerçekleştirilecek şekilde geliştirilmiştir. Sonuç olarak tam otomatik bir şekilde LR yöntemi ile HDH üretilmiştir. HDH ürettikten sonra bu sınıfı belli duyarlılıklara göre sınıflandırmak gerekmektedir. Burada oluşturulan HDH, heyelanlı alanları belirlemek amacıyla doğal kesme (natural break) yöntemi ile 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar duyarlı, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı alanlar olarak belirlenmiştir

Burada geliştirilen kullanıcı arayüz programları, dünyanın her yerinde kullanıma uygun bir şekilde geliştirilmiş ve parametreleri LR yöntemine göre değerlendirerek HDH'yi otomatik olarak üretebilmektedir. LR yöntemi ile HDH'nin tam otomatik olarak üretilmesi için CBS ortamında geliştirilen kullanıcı arayüz programlarında; Extract, Overlay, Proximity, Statistics, From Raster, To Raster, Create Fishnet, Features, Fields, Joins, Layers Table Views, General, Raster Processing, Table, Conditional, Hydrology, Map Algebra, Math, Reclass, Surface, To Geodatabase, Excel ve Zonal statistic gibi coğrafi analizler ve sorgulamalar kullanılmıştır.



Şekil 2.17 Geliştirilen 'Logistic Regression' kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.



Şekil 2.18 Geliştirilen 'Logistic Regression' programına ait arayüz.

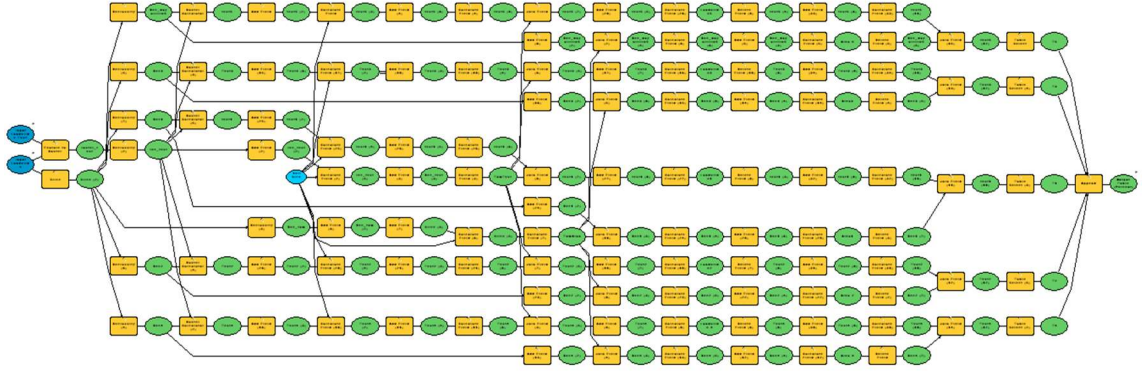
## **2.8. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Doğruluklarının Değerlendirilmesi ve Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programları**

Bu aşamada doğruluk analizi işlemini tam otomatik olarak gerçekleştiren kullanıcı arayüz programları geliştirilmiştir (ArcGIS 10.3 - Model Builder). Bunun yanı sıra üretilen haritaların doğruluğu ROC yöntemiyle de belirlenmiştir.

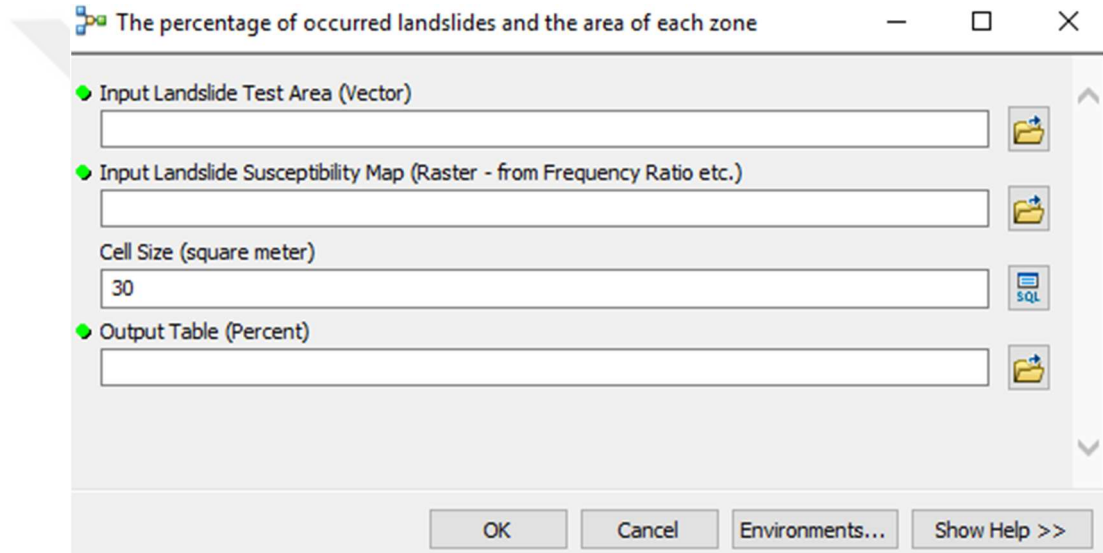
Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerle üretilen HDH'lerin doğruluğu bilinen heyelanların konumları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bunun için 'The percentage of occurred landslides and the area of each zone' (Oluşan heyelanların yüzdesi ve her bölgenin alanı) adında kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir (Şekil 19, Şekil 20). Bu arayüz üretilen heyelan duyarlılık haritasının, her sınıfı için envanter heyelanlarının ne kadarının bu sınıf içerisine düştüğü bilgisini vermektedir. Bununla birlikte tüm alanın yüzde kaçının, bir alt sınıfa düştüğü bilgisini de vermektedir. Geliştirilen bu kullanıcı arayüz programında, çalışmanın başında belirlenen test heyelanları kullanılmıştır. Test heyelanları FR, LR ve WOFE yöntemleriyle üretilen HDH üzerinde konumlandırılmıştır. Arayüze sırasıyla test heyelanı ve her bir yöntemle üretilen HDH'ler yüklenerek doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen bu arayüz programında test heyelanı ve FR yöntemiyle üretilen HDH kullanıldığında, test heyelanlarının % 89.90'ının yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip sınıflarda olduğu belirlenmiştir. Yine test heyelanı ve LR yöntemiyle üretilen HDH kullanıldığında, test heyelanlarının % 87.85'inin yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip sınıflarda olduğu tespit edilmiştir. Son olarak test heyelanı ve WOFE yöntemiyle üretilen HDH kullanıldığında ise test heyelanlarının % 85.12'sinin yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip sınıflarda olduğu ortaya konmuştur.

Aynı zamanda geliştirilen bu kullanıcı arayüz programı daha farklı yöntemler ile üretilen HDH ile heyelanların karşılaştırılmasına uygun ve tam otomatik olarak çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen arayüz programlarında, envanter heyelanları analiz ve test heyelanları şeklinde ayrılarak kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen kullanıcı arayüz programı envanter verilerinin ayrılmadan da kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.



**Şekil 2.19** Geliştirilen ‘The percentage of occurred landslides and the area of each zone’ kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.



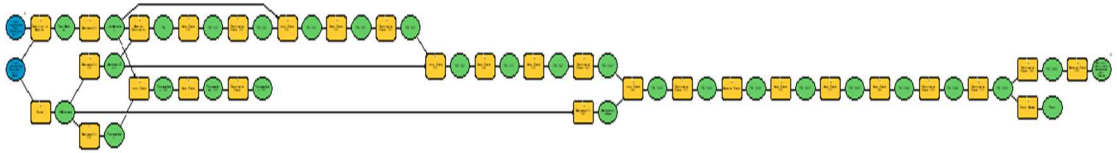
**Şekil 2.20** Geliştirilen ‘The percentage of occurred landslides and the area of each zone’ programına ait arayüz.

Hata matrisi yöntemi ile doğruluk analizi çalışmalarını uygulayan ve öneren yayınlar literatürde mevcuttur (Dağ, 2007; Aksoy ve Ercanoğlu, 2012; Dağdelenler, 2013). Hata matrisi ile doğruluk istatistikleri eşik değere bağımlı olarak gerçekleşmektedir. Sınıflandırma için eşik değer belirlenmesi ve hata matrisinin oluşturulması, hata matrisinden türeyen doğrulama istatistiklerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Begueria, 2006). Burada heyelan varlığı (1) ve yokluğu (0) veri setleri kullanılarak istatistiksel değerlendirme sonucunda genel bir doğruluk değeri elde edilir. Hata matrisinin varlık (1) ve yokluk (0) değerlerini, doğrulama istatistikleri için nasıl kullanıldığı Çizelge 2.6’ de açıklanmıştır.

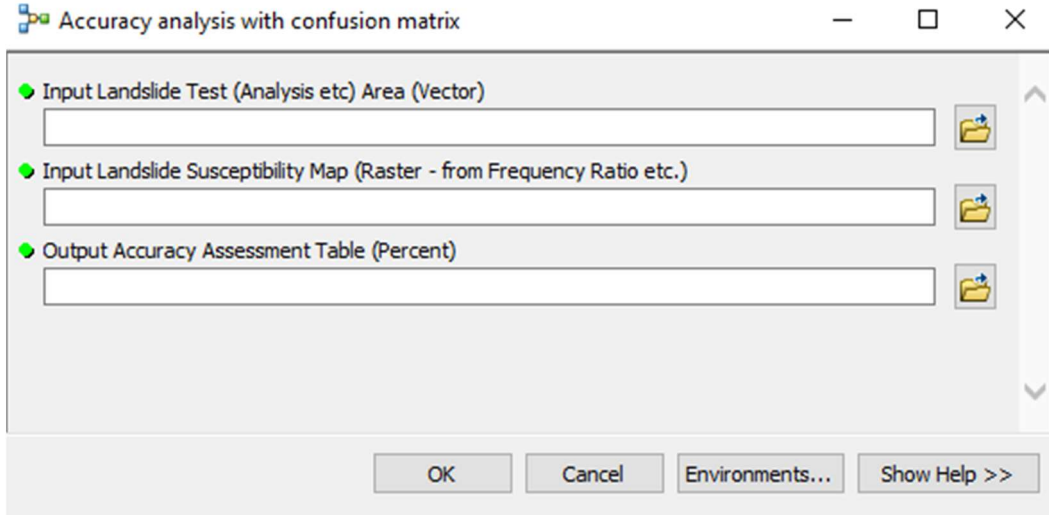
**Çizelge 2.6** Hata matrisi; a, doğru pozitif; b, yanlış negatif; c, yanlış pozitif; d, doğru negatif gösterimi

GERÇEKTE OLAN	TAHMİN EDİLEN		
		Varlık (1)	Yokluk (0)
	Varlık (1)	a	b
Yokluk (0)	c	d	

Çizelgede gösterilen ifadelerin yerine uygun olan sayısal değerler getirilerek gerekli istatistiksel işlemler yapılır ve doğruluk değerleri üretilir. Burada doğru pozitif değerlendirilerek bir doğruluk değeri, doğru negatif değerlendirilerek diğer bir doğruluk değeri ve doğru pozitif ile doğru negatif birlikte değerlendirilerek genel doğruluk değeri hesaplanır. Hata matrisi içinde ‘Accuracy analysis with confusion matrix’ (Hata matrisi ile doğruluk analizi) adında kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir (Şekil 2.21, Şekil 2.22). Geliştirilen arayüz programı, hata matrisi ve hata matrisinden türeyen doğrulama istatistiklerini matematiksel olarak değerlendirmektedir. Bu programa her bir yöntem ile üretilen HDH ve test heyelanı verileri yüklenerek HDH’lerin doğruluk değerleri otomatik olarak hesaplanır.



**Şekil 2.51** Geliştirilen ‘Accuracy analysis with confusion matrix’ kullanıcı arayüz programına ait model builder görüntüsü.



**Şekil 2.62** Geliştirilen ‘Accuracy analysis with confusion matrix’ programına ait arayüz.

Accuracy analysis with confusion matrix kullanıcı arayüz programı sonucunda FR, LR ve WOFE analizleriyle ile üretilen HDH’lerin genel doğruluk değerleri sırasıyla %76.54, %70.24 ve %74.65 olarak elde edilmiştir. Bu program, bu çalışma kapsamında kullanılmayan diğer yöntemlerle üretilen HDH’lerin doğruluklarının otomatik olarak hesaplanması amacıyla da kullanılabilir şekilde geliştirilmiştir.

Üretilen HDH’lerin doğruluğunu tespit etmek için uygulanan bir diğer işlem de, önemli istatistiksel değerlendirmelerden biri olan ROC analizidir. Burada ROC değerinin hesaplanmasındaki asıl amaç geliştirilen arayüzlerin ürettiği sonuçların literatürde birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılan HDH doğruluk değerlendirme yöntemi olan ROC analizi ile de bütünleştirmektir. ROC analiziyle elde edilen doğruluk değerleri aynı zamanda geliştirilen kullanıcı arayüz programlarının güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan, ROC analizi ile üretilen doğruluk değerleri ile geliştirilen arayüzlerden üretilen değerler arasındaki ilişki önemlidir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programlarının güvenilirliğini ve doğruluğunu test etmek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan ROC değerinin bu çalışmada da hesaplanması kaçınılmaz olmuştur.



ROC değeri envanter heyelanları ile heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmaktadır. ROC eğrisi altında kalan alan 0 ile 1 arasında değişmekte olup 1 değeri mükemmeli, 0.5 değeri ise rastgele uyumu göstermektedir (Begueria, 2006). İdeal bir model ROC Area Under Curve (AUC-Eğri altında kalan alan) değerinin 1'e yakın olduğunu gösterir. AUC heyelan olması muhtemel alanlar ile heyelan olmaması beklenen alanları ayırt edebilme başarısının en iyi göstergesi olarak kabul edilir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005; Dağ, 2007). Çalışma kapsamında test heyelanları kullanılarak ROC analizi yapılmıştır. Bu kapsamda FR, LR ve WOFE analizleriyle üretilen HDH'lerin doğrulukları AUC değerine bağlı olarak belirlenmiştir. HDH'lerin sırası ile AUC değerleri %81.8, %79.9 ve %79.0 olarak elde edilmiştir.

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **3.1. Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programları ve Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritalarının İrdelenmesi**

Bu çalışmada eğim, bakı, yükseklik, litoloji, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, NDVI, arazi kullanımı ve yağış parametrelerinin (9 parametre) dikkate alınarak FR, LR ve WOFE yöntemlerinin uygulanmasıyla, ArcGIS CBS yazılımı ve Matlab programlama dilinde kullanıcı arayüz programları geliştirilmiş ve otomatik olarak HDH'ler üretilmiştir. Çalışmada kullanılan heyelan envanter haritası, analizde kullanmak amacıyla analiz heyelanı ve doğrulamada kullanmak amacıyla da test heyelanı olarak iki veri setine ayrılmıştır.

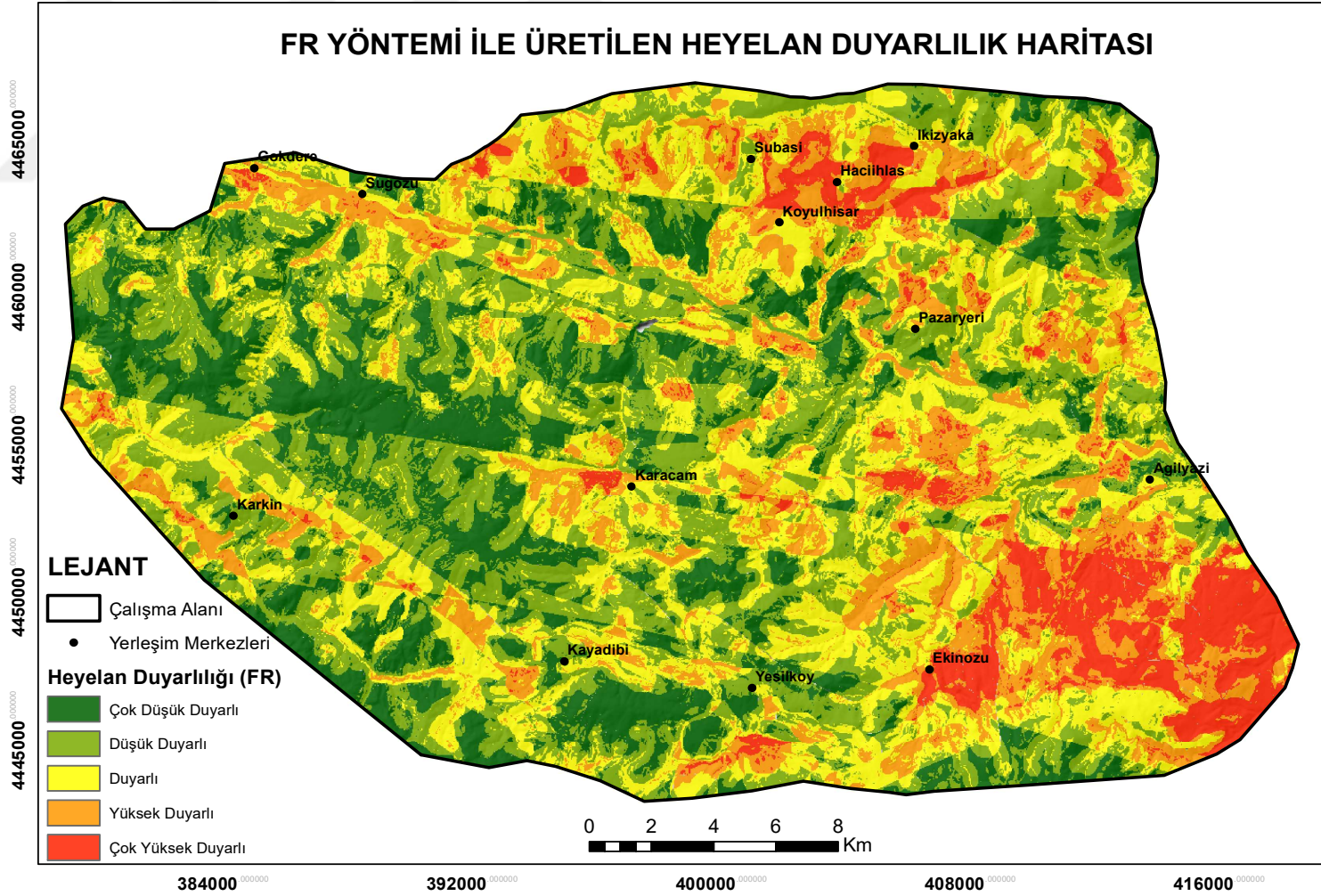
Envanter heyelanlarının bir kısmı rastgele seçilerek test heyelanları oluşturulmuştur. Geliştirilen kullanıcı arayüz programlarında bu veriler kullanılmıştır. Ayrıca literatürde envanter heyelanlarının her bir çalışmada farklı şekillerde kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte geliştirilen bu kullanıcı arayüz programı sayesinde envanterler, istenildiği şekilde kullanılarak farklı kombinasyonlar oluşturulabilmektedir. Çalışma alanları çok büyük olması durumunda alanı bölerek HDH üreten çalışmalar da literatürde mevcuttur. Bu tür çalışmalarda HDH'lerin CBS tabanlı olarak adım adım üretilmesi durumunda bile uzun zaman aldığı bilinmektedir.

Üstelik, HDH üretmek için herhangi bir parametrenin yanlış hesaplanması ya da herhangi bir verinin değişmesi durumunda elde edilen sonuçlar değişebileceğinden tüm işlemlerin tekrarlanmasını gerektirmektedir. Geliştirilen kullanıcı arayüz programı, belirtilen hususları dikkate alarak kısa sürede analizi otomatik olarak gerçekleştiren esnek bir yapıya sahiptir. HDH üretim sürecinde kullanılacak veriler ne kadar doğru ve güncel olursa elbette sonuçlar da buna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu noktada bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programları HDH üretmek için büyük kolaylık sağlamaktadır. Böylece, geliştirilen kullanıcı arayüz programları ile baştan itibaren tüm işlemler adım adım tekrarlanmadan kısa sürede sonuçlandırılabilir.

### **3.1.1. Frekans Oranı Yöntemi ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası**

FR yöntemi ile gerçekleştirilen heyelan duyarlılık analizi sonucu elde edilen LSI değerleri 4.22 ile 14.04 arasındadır. FR yöntemi ile HDH üretmek için geliştirilen kullanıcı arayüz programı çıktı ürünü olan HDH, doğal kesme (natural break) yöntemi ile duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı alanlar olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.1). Bu haritada duyarlılık sınıfları değerlendirildiğinde 123.52 km<sup>2</sup> (% 17.45) lik alanın “duyarsız”, 218.39 km<sup>2</sup> (%30.83) lik alanın “düşük derecede duyarlı”, 195.67 km<sup>2</sup> (%27.63) lik alanın “orta derecede duyarlı” olduğu tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılığının daha fazla olduğu iki sınıfın ise 117.40 km<sup>2</sup> (%16.57) alana sahip “yüksek derece duyarlı” ve 53.30 km<sup>2</sup> (%7.52) alana sahip “çok yüksek derecede duyarlı” alanların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

‘Frequency Ratio’ adındaki kullanıcı arayüz programı ile 708 km<sup>2</sup> lik Koyulhisar ilçesi ve çevresinin HDH’si, gerekli girdi parametrelerinin gösterilmesinden sonra OK tuşuna basılarak Intel Xeon 3.50 GHz I7 işlemci, 32 GB RAM ve 64 bit Windows 10 Pro işletim sistemi özelliklerine sahip bilgisayarda yaklaşık olarak 2.5 saatte üretilmiştir.



Şekil 3.1 FR kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH.

**Çizelge 3.1** FR kullanıcı arayüz programı ile üretilen haritanın, heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımı

Heyelan Duyarlılık Sınıfları	Heyelan Duyarlılık İndeksi(LSI)	Alan (km <sup>2</sup> )	Oran (%)
Çok Düşük Duyarlı	4.22 – 6.55	123.52	17.45
Düşük Duyarlı	6.55 – 7.64	218.39	30.83
Duyarlı	7.64 – 8.79	195.67	27.63
Yüksek Duyarlı	8,79 – 10.23	117.40	16.57
Çok Yüksek Duyarlı	10.23 – 14.04	53.30	7.52

FR yöntemi ile üretilen HDH yorumlandığında aşağıdaki tespitlere yer verilmiştir.

- Yüksek ve çok yüksek heyelanlı alanların fay ve akarsu hattı boyunca tutarlı olduğu görülmüştür.
- En çok heyelan duyarlılığına litolojik birimlerden bazalt formasyonunda rastlanmıştır.
- Arazi kullanımı dikkate alındığında ise insan etkisinin fazla olduğu tarım ve yerleşim alanlarındaki heyelan duyarlılığının arttığı gözlenmiştir.
- Bitki örtüsü parametresi dikkate alındığında NDVI değerinin en fazla olduğu alanlarda en çok heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir. Bu durumda, Hacısalihoğlu'nun, (2011) Türkiye'de Arazi Kullanımı ve Heyelan İlişkisi: Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği konulu raporunda vurguladığı ormanların büyük çapta çay ve fındık gibi toprak koruma işlevi düşük olan bitki örtüsüne dönüştürülmesinin heyelanları artırır, ifadesini doğrulamaktadır.
- Eğim parametresi dikkate alındığında, heyelan duyarlılığının en fazla gözleendiği bölgenin en düşük eğime sahip alanlar olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bazı çok eğimli alanların sağlam kayalardan oluşması nedeniyle heyelan olayının az görüldüğü yorumunu doğrulamaktadır (Santacana vd., 2003). Ayrıca düşük eğimde heyelanın fazla olduğunu gösteren çalışmalar da literatürde mevcuttur (Temesgen vd., 2001; Ayalew ve Yamagishi 2005).
- Yine orta yükseklikte güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelan duyarlılığının en fazla olduğu gözlenmiştir. Sendir ve Yılmaz (2002) Koyulhisarda yaptığı incelemede genellikle güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelanın hakim olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, elde edilen sonuçların Sendir ve Yılmaz (2002) tarafından yapılan çalışmayı doğruladığını göstermektedir.

- Terrarona et al. (2016) tarafından heyelan tehlike analizi çalışmalarında yağışın da önemli bir tetikleyici faktör olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, ortalama yağışın en fazla olduğu alanlarda en fazla heyelan duyarlılığı tespit edilerek Terrarona et al. (2016) nin görüşleri doğrulanmaktadır.

### 3.1.2. Weight of Evidence Yöntemi ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası

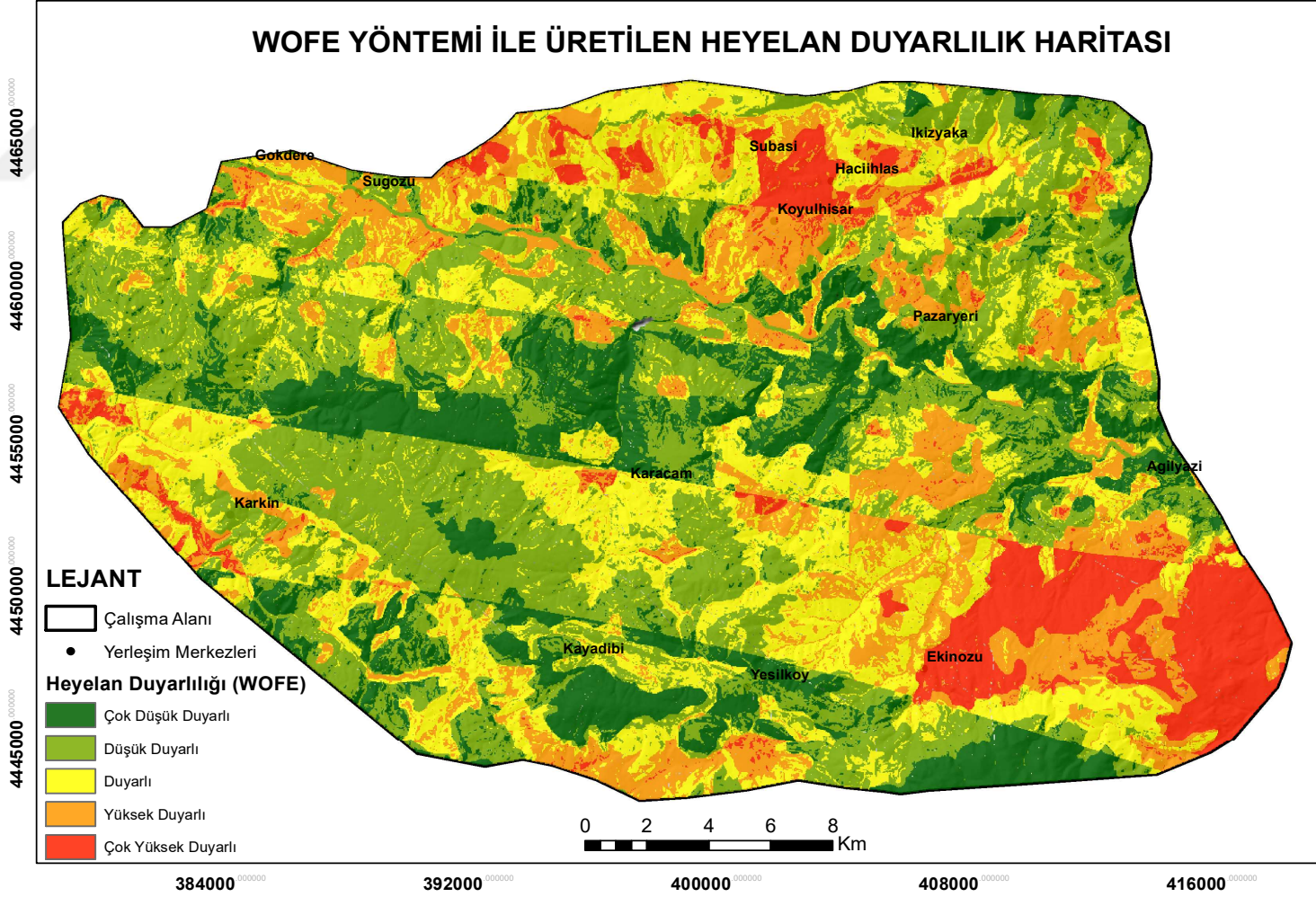
WOFE yöntemi ile HDH üretmek için geliştirilen kullanıcı arayüz programının çıktısı olan HDH, doğal kesme (natural break) yöntemi ile duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı alanlar olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.2).

Bu haritada duyarlılık sınıfları değerlendirildiğinde 117.36 km<sup>2</sup> (% 16.57) lik alanın “duyarsız”, 232.56 km<sup>2</sup> (%32.84) lik alanın “düşük derecede duyarlı”, 174.78 km<sup>2</sup> (%24.68) lik alanın “orta derecede duyarlı” olduğu tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılığının daha fazla olduğu iki sınıfın ise 124.21 km<sup>2</sup> (%17.53) alana sahip “yüksek derece duyarlı” ve 59.36 km<sup>2</sup> (%8.38) alana sahip “çok yüksek derecede duyarlı” alanların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

**Çizelge 3.2** WOFE kullanıcı arayüz programı ile üretilen haritanın, heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımı.

Heyelan Duyarlılık Derecesi	Heyelan Duyarlılık Sınıfları	Alan (km <sup>2</sup> )	Oran (%)
1	Çok Düşük Duyarlı	117.36	16.57
2	Düşük Duyarlı	232.56	32.84
3	Duyarlı	174.78	24.68
4	Yüksek Duyarlı	124.21	17.53
5	Çok Yüksek Duyarlı	59.36	8.38





Şekil 3.2 WOFE kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH.

WOFE yöntemi ile üretilen HDH yorumlandığında aşağıdaki tespitlere yer verilmiştir.

- Fay hattının yoğun olduğu alanlarda heyelan duyarlılığının fazla olduğu gözlenmiştir.
- En çok heyelan duyarlılığına litolojik birimlerden bazalt formasyonunda rastlanmıştır.
- Arazi kullanımı dikkate alındığında ise insan etkisinin fazla olduğu tarım ve yerleşim alanlarındaki heyelan duyarlılığının arttığı gözlenmiştir.
- Bitki örtüsü parametresi dikkate alındığında NDVI değerinin en fazla olduğu alanlarda en çok heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir. Bu durumda, Hacısalihoğlu'nun, (2011) Türkiye'de Arazi Kullanımı ve Heyelan İlişkisi: Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği konulu raporunda vurguladığı ormanların büyük çapta çay ve fındık gibi toprak koruma işlevi düşük olan bitki örtüsüne dönüştürülmesinin heyelanları artırır, ifadesini doğrulamaktadır.
- Eğim parametresi dikkate alındığında, heyelan duyarlılığının en fazla gözlemlendiği bölgenin en düşük eğime sahip alanlar olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bazı çok eğimli alanların sağlam kayalardan oluşması nedeniyle heyelan olayının az görüldüğü yorumunu doğrulamaktadır (Santacana vd., 2003). Ayrıca düşük eğimde heyelanın fazla olduğunu gösteren çalışmalar da literatürde mevcuttur (Temesgen vd., 2001; Ayalew ve Yamagishi 2005).
- Yine orta yükseklikte güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelan duyarlılığının en fazla olduğu gözlenmiştir. Sendir ve Yılmaz (2002) Koyulhisarda yaptığı incelemede genellikle güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelanın hakim olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, elde edilen sonuçların Sendir ve Yılmaz (2002) tarafından yapılan çalışmayı doğruladığını göstermektedir.
- Terrarona et al. (2016) tarafından heyelan tehlike analizi çalışmalarında yağışın da önemli bir tetikleyici faktör olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, ortalama yağışın en fazla olduğu alanlarda en fazla heyelan duyarlılığı tespit edilerek Terrarona et al. (2016) nin görüşleri doğrulanmaktadır.

‘WOFE’ adındaki kullanıcı arayüz programı ile 708 km<sup>2</sup> lik Koyulhisar ilçesi ve çevresinin HDH’si, gerekli girdi parametrelerinin gösterilmesinden sonra OK tuşuna basılarak Intel Xeon 3.50 GHz I7 işlemci, 32 GB RAM ve 64 bit Windows 10 Pro işletim sistemi özelliklerine sahip bilgisayarda yaklaşık olarak 2.5 saatte üretilmiştir.

### 3.1.3. Lojistik Regresyon Yöntemi ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası

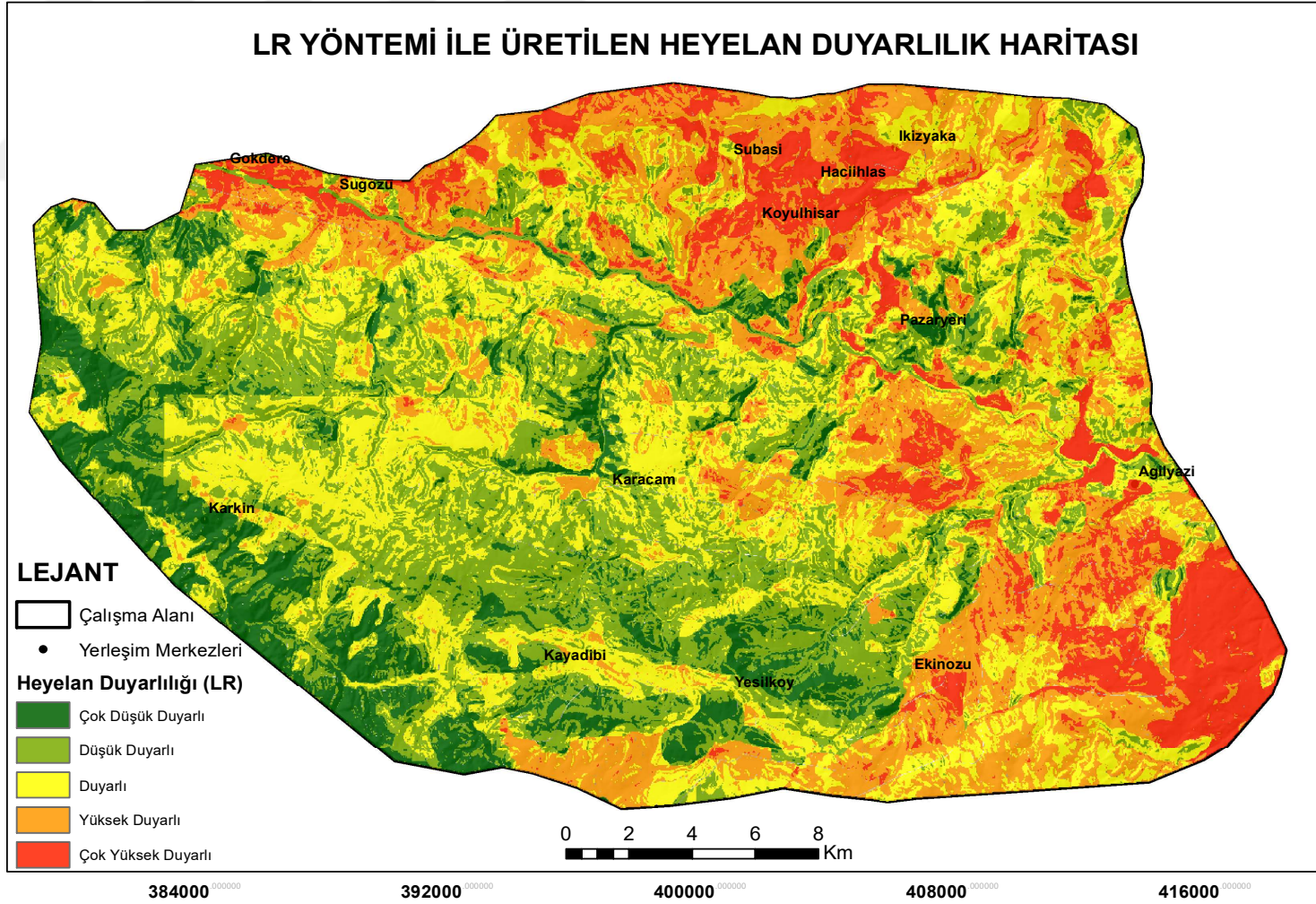
LR yöntemi ile HDH üretmek için geliştirilen kullanıcı arayüz programı çıktı ürünü olan HDH, doğal kesme (natural break) yöntemi ile duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı alanlar olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.3).

Bu haritada duyarlılık sınıfları değerlendirildiğinde 75.46 km<sup>2</sup> (% 11.64) lik alanın “duyarsız”, 190.17 km<sup>2</sup> (%27.72) lik alanın “düşük derecede duyarlı”, 203.77 km<sup>2</sup> (%28.26) lik alanın “orta derecede duyarlı” olduğu tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılığının daha fazla olduğu iki sınıfın ise 158.18 km<sup>2</sup> (%21.52) alana sahip “yüksek derece duyarlı” ve 78.53 km<sup>2</sup> (%10.85) alana sahip “çok yüksek derecede duyarlı” alanların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3** LR kullanıcı arayüz programı ile üretilen haritanın, heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımı

Heyelan Duyarlılık Derecesi	Heyelan Duyarlılık Sınıfları	Alan (km <sup>2</sup> )	Oran (%)
1	Çok Düşük Duyarlı	75.46	11.64
2	Düşük Duyarlı	190.17	27.72
3	Duyarlı	203.77	28.26
4	Yüksek Duyarlı	158.18	21.52
5	Çok Yüksek Duyarlı	78.53	10.85





Şekil 3.3 LR kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH.

LR yöntemi ile üretilen HDH yorumlandığında aşağıdaki tespitlere yer verilmiştir.

- Fay hattının yoğun olduğu alanlarda heyelan duyarlılığının fazla olduğu gözlenmiştir.
- En çok heyelan duyarlılığına litolojik birimlerden bazalt formasyonunda rastlanmıştır.
- Arazi kullanımı dikkate alındığında ise insan etkisinin fazla olduğu tarım ve yerleşim alanlarındaki heyelan duyarlılığının arttığı gözlenmiştir.
- Bitki örtüsü parametresi dikkate alındığında NDVI değerinin en fazla olduğu alanlarda en fazla heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir. Bu durumda, Hacısalihoğlu'nun, (2011) Türkiye'de Arazi Kullanımı ve Heyelan İlişkisi: Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği konulu raporunda vurguladığı ormanların büyük çapta çay ve fındık gibi toprak koruma işlevi düşük olan bitki örtüsüne dönüştürülmesinin heyelanları artırır, ifadesini doğrulamaktadır.
- Eğim parametresi dikkate alındığında, heyelan duyarlılığının en fazla gözlemlendiği bölgenin en düşük eğime sahip alanlar olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bazı çok eğimli alanların sağlam kayalardan oluşması nedeniyle heyelan olayının az görüldüğü yorumunu doğrulamaktadır (Santacana vd., 2003). Ayrıca düşük eğimde heyelanın fazla olduğunu gösteren çalışmalar da literatürde mevcuttur (Temesgen vd., 2001; Ayalew ve Yamagishi 2005).
- Yine orta yükseklikte güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelan duyarlılığının en fazla olduğu gözlenmiştir. Sendir ve Yılmaz (2002) Koyulhisarda yaptığı incelemede genellikle güneydoğuya bakan yamaçlarda heyelanın hakim olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, elde edilen sonuçların Sendir ve Yılmaz (2002) tarafından yapılan çalışmayı doğruladığını göstermektedir.
- Terrarona et al. (2016) tarafından heyelan tehlike analizi çalışmalarında yağışın da önemli bir tetikleyici faktör olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, ortalama yağışın en fazla olduğu alanlarda en fazla heyelan duyarlılığı tespit edilerek Terrarona et al. (2016) nin görüşleri doğrulanmaktadır.

LR yöntemi ile HDH'nın üretilmesi, geliştirilen üç farklı arayüz programı ile sağlanmaktadır. Bunlardan birisi Matlab-GUI ortamında diğerleri ise ArcGIS CBS ortamında geliştirilmiştir. Bu kullanıcı arayüz programları ile 708 km<sup>2</sup> lik Koyulhisar ilçesi ve çevresinin HDH'si, gerekli girdi parametrelerinin gösterilmesinden sonra OK tuşuna basılarak Intel Xeon 3.50 GHz I7 işlemci, 32 GB RAM ve 64 bit Windows 10 Pro işletim sistemi özelliklerine sahip bilgisayarda yaklaşık olarak 4.5 saatte üretilmiştir.

### 3.2. Geliştirilen Kullanıcı Arayüz Programları ile Yapılan Doğruluk Analizi Sonuçlarının İrdelenmesi

Geliştirilen kullanıcı arayüz programları ile HDH'lerin doğrulukları test edilmektedir. Bununla beraber bu analizler dışında üretilmiş olan HDH'ler için de dinamik olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen 'The percentage of occurred landslides and the area of each zone' arayüzü ile heyelan envanterlerinin yüzde kaçının HDH'nin hangi sınıflarına düştüğünü belirlemektedir. Bu çalışmada da FR, LR ve WOFE yöntemleri ile oluşturulan HDH'lerin bahsedilen programda ayrı ayrı analizi yapılmıştır. Test heyelanları ile gerçekleştirilen analiz çıktıları Çizelge 3.4 de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4** 'The percentage of occurred landslides and the area of each zone' kullanıcı arayüz programı çıktıları

#### FR YONTEMİ

SensitivityClasses	Landslide	Area
VeryLow	0.078309	17.439591
Low	1.080658	30.833528
Moderate	8.566954	27.625774
High	35.066562	16.57615
VeryHigh	54.831637	7.524957

#### LR YONTEMİ

SensitivityClasses	Landslide	Area
VeryLow	0.156617	11.644874
Low	2.631167	27.721948
Moderate	8.98982	28.264414
High	28.598277	21.523644
VeryHigh	59.248238	10.845121

#### WOFE YONTEMİ

SensitivityClasses	Landslide	Area
VeryLow	0.328896	16.569543
Low	2.787784	32.835516
Moderate	11.386061	24.677496
High	27.439311	17.536545
VeryHigh	57.682067	8.3809

Burada da görüldüğü üzere FR, LR ve WOFE analizleri sonucu üretilen HDH'lerin yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıflarında test heyelanlarının sırasıyla %89.90, %87.85 ve %85.12'sinin bulunduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra doğruluk analizi için geliştirilen, hata matrisi ile doğruluk istatistiği yapan bir diğer arayüz programı da 'Accuracy analysis with confusion matrix' dir. Bu program ile üretilen üç HDH ayrı ayrı test heyelanları ile değerlendirilmiş ve çıktıları Çizelge 3.5 de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5** 'Accuracy analysis with confusion matrix' kullanıcı arayüz programı çıktıları

FR YÖNTEMİ

Accuracy_I	Accuracy_II	GeneralAccuracy
89.898199	76.437099	76.546314

LR YÖNTEMİ

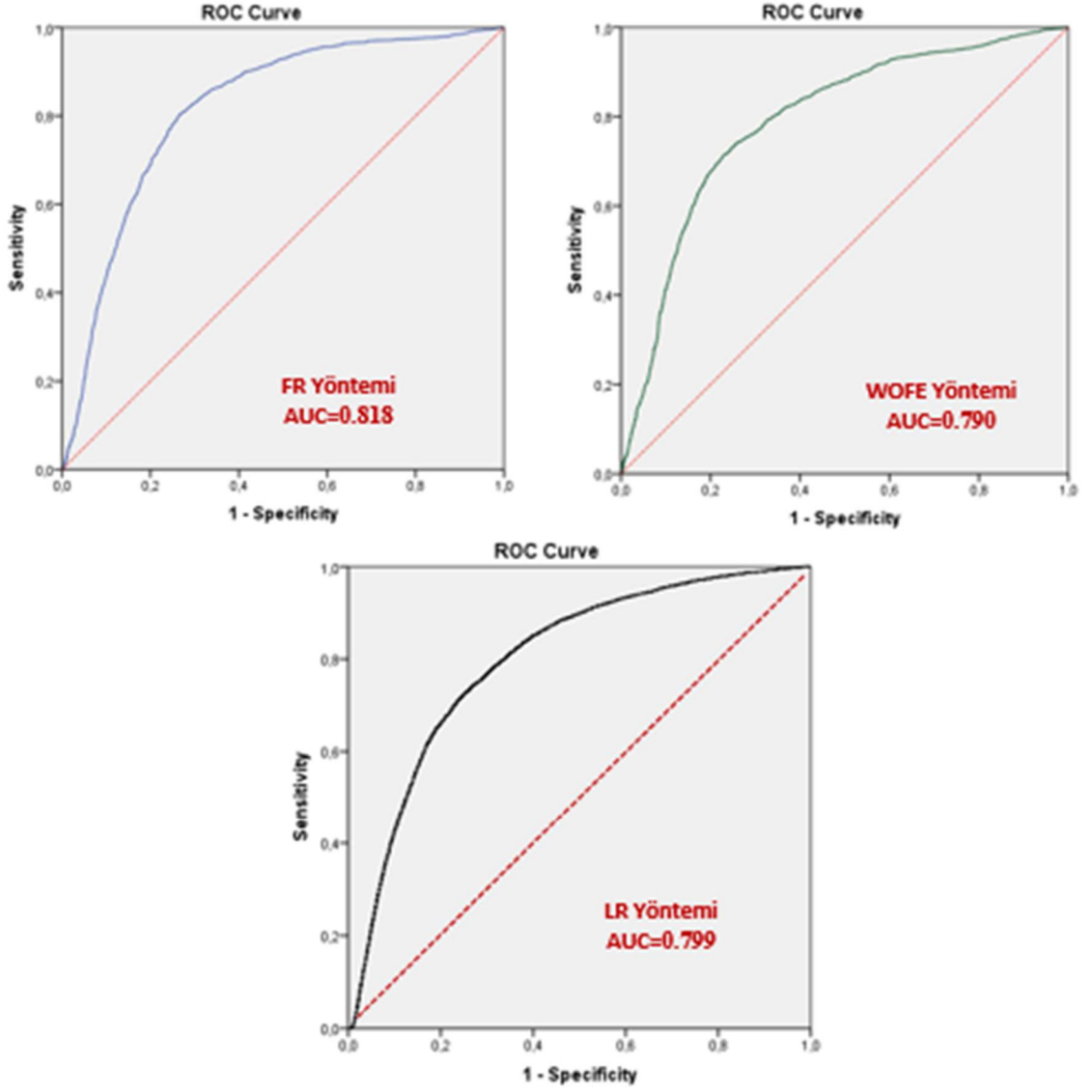
Accuracy_I	Accuracy_II	GeneralAccuracy
87.846515	70.086109	70.246811

WOFE YÖNTEMİ

Accuracy_I	Accuracy_II	GeneralAccuracy
85.121378	74.56683	74.652464

'Accuracy analysis with confusion matrix' arayüzü çıktılarında da görüldüğü gibi genel doğruluk değerleri FR, LR ve WOFE haritaları için sırasıyla %76.54, %70.24 ve %74.65 olarak elde edilmiştir. Burada Accuracy I (Doğruluk 1) değeri heyelanlı olarak bulunan alanların yüzde kaçının gerçekte heyelanlı olduğunu gösterirken, Accuracy II (Doğruluk 2) değeri ise gerçekte heyelansız olan alanların yüzde kaçının analiz sonucu da heyelansız olarak belirlendiğini göstermektedir. FR sonucu için örnek verecek olursak gerçekte heyelanlı alanların %90'ı analiz sonucu da heyelanlı bulunurken, gerçekte heyelansız olan alanların analiz sonucu sadece %76.44 ü heyelansız olarak elde edilmiştir. General Accuracy (Genel Doğruluk) değeri ise her ikisinin de birlikte değerlendirildiği doğruluk değeridir.

Çalışma kapsamında haritaların doğruluğunu test etmek amacıyla ROC analizi de gerçekleştirilmiştir. FR, LR ve WOFE yöntemleri ile üretilen HDH'lerin AUC değerleri sırasıyla %81.1, %79.9 ve %79.00 olarak belirlenmiş olup ROC eğrileri Şekil 3.4 de verilmektedir.



**Şekil 2.4** FR, WOFE, LR kullanıcı arayüz programları sonucu üretilen HDH'lerin ROC eğrileri.

Bu çalışmada da yeni geliştirilen kullanıcı arayüz programlarının güvenilirliğini ve üretilen HDH'lerin doğruluklarını test etmek adına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki ROC analizi değerleri ile karşılaştırıldığında başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu durum üretilen haritalarının yüksek doğrulukla üretildiğini ve geliştirilen kullanıcı arayüz programlarının güvenilir ve başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda doğru ve güncel veri setleri ile çalışılması durumunda daha başarılı sonuçların elde edilmesi mümkündür.



Hata matrisi ile doğruluk analizini gerçekleştirmek için geliştirilen kullanıcı arayüz programının sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek doğruluğun FR yönteminin uygulandığı kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH olduğu görülmüştür. ROC yöntemi ile gerçekleştirilen doğruluk analizinde de yine FR yönteminin uygulandığı kullanıcı arayüz programı ile üretilen HDH'nin en yüksek doğruluğu verdiği gözlenmiştir. Yine bu üç yöntem ile geliştirilen kullanıcı arayüz programları sonuç ürünleri olan HDH'lerin doğruluk değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu da analizler sonucunda tespit edilmiştir.

### **3.3. Tartışma**

Bu çalışma kapsamında literatürde en yaygın kullanılan ve yüksek doğruluk vermesi nedeniyle önerilen FR, LR ve WOFE yöntemleri ile HDH üreten ve doğruluk analizini otomatik olarak gerçekleştiren kullanıcı arayüz programları geliştirilmiştir. Bu programlar geliştirilirken literatürde en çok tercih edilen parametreler kullanılmıştır. Bilindiği üzere bir program geliştirilirken öncelikli olan kavramlardan bazıları da uygulanabilir ve tercih edilebilir olmasıdır. Bu çalışma kapsamında kullanıcı arayüz programları geliştirilirken yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Geliştirilen kullanıcı arayüz programları gerekli olan girdi parametrelerini yüklemek suretiyle HDH için gerekli verileri ve sonuçları otomatik olarak üretmektedir. Çalışmada kullanılan veriler ne kadar doğru, güncel ve güvenilir olursa elde edilecek sonuçlar da buna bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Bu çalışmada öncelik doğal afet bakımından önemli çalışmalardan biri olan ve üretilmesi zor ve uzun zaman alan HDH lerin üretim sürecinin kısa sürede ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan kullanıcı arayüz programlarının geliştirilmesidir. Bu hedef doğrultusunda çalışma amacına ulaşmıştır. Bununla birlikte çalışmada kullanılan verilerin doğru ve güncel olması daha başarılı HDH üretilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada MTA (2005) tarafından üretilen heyelan envanterler verileri kullanılmıştır. Çalışma alanına ilişkin güncel verilerin (jeolojik formasyon, heyelan envanter) kullanılması (Demir, 2018) durumunda sonuçlar değişebilir.

Diğer taraftan, çalışmada kullanılan heyelan envanter haritası analiz ve test heyelanları olarak ikiye ayrılmıştır. Bu veriler çalışma alanında genelde büyük parçalar halindedir. Burada daha fazla test heyelanı seçmek için büyük parçaların kullanılması gerekir ve bu yaklaşım HDH doğruluğunun büyük olasılıkla çok yüksek çıkmasına neden olabilir (Akıncı vd., 2015). Ancak böyle bir durum tam olarak gerçeği yansıtamayabileceği için buna dikkat edilerek test heyelanı seçimi yapılmıştır. Arayüzde kullanılacak verilerin bu gibi detaylara önem verilerek hazırlanması üretilen HDH'nin daha gerçekçi ve uygulanabilir olmasını sağlayacaktır.

Üretilen HDH'lerin planlamada kullanılması için doğruluğunun bilinmesi önemlidir. Bu nedenle geliştirilen kullanıcı arayüz programları ve ROC yöntemi ile doğrulukları değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlarda en doğru HDH'nin FR yöntemi ile geliştirilen kullanıcı arayüz programının çıktısı olduğu görülmektedir. Bu gibi çalışmalarda heyelan tespit edilen alanların arazide doğrulaması yapılmalıdır. Bu çalışma doğal afet bakımından ileride yapılacak planlama çalışmalarını doğrudan etkilediğinden son derece önemlidir. Ayrıca, CBS tabanlı çalışmalarda mümkünse doğru ve güncel veriler kullanılmalıdır. Burada üretilen HDH'lerin doğruluğu için çalışma sahasını iyi bilen uzman jeolog görüşü alınmıştır. FR, WOFE ve LR yöntemleri kullanılarak geliştirilen kullanıcı arayüz programlarıyla otomatik olarak üretilen HDH'ler karşılaştırıldığında, LR yöntemiyle elde edilen HDH'nin arazideki gerçek durumu daha çok yansıttığı vurgulanmaktadır.

HDH'lerin üretilmesinde önemli bir yere sahip olacağı düşünülen bu kullanıcı arayüz programları ile daha güncel veriler ve farklı kombinasyonlara sahip envanter haritaları kullanılarak çeşitli alanların HDH'lerinin üretilmesi gelecekteki çalışmaların konusunu oluşturmaktadır. Aynı zamanda günümüzde daha karmaşık ve yeni yöntemlerin uygulandığı ve bu yöntemlerin istatistiksel yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışmalara literatürde sık olarak rastlanmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programlarının bu tür çalışmalarda kullanılması, gelecekte bu alanda çalışan araştırmacılara büyük kolaylık sağlayacaktır.

HDH üretmek için gerçekleştirilen işlemler, farklı yazılımlar ve birçok işlem adımlarını kapsarken bu adımların tümünü tek bir programlama dilinde tek başına çalışan özelleştirilmiş kullanıcı dostu bir arayüzle sunularak, bilimsel çalışmalar dışında bu veriye ihtiyaç duyan kişi ve kurumlar içinde kullanımı kolay bir modelleme sistemi sağlanmış olacaktır (Şahin, 2017). Bu çalışma kapsamında ortaya konan sonuçlar Şahin (2017)'in de vurguladığı gibi literatüre katkı sağlamaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Yeryüzü sürekli olarak birçok farklı doğal afete maruz kalmaktadır. Yapılması gereken ise doğal afet riskinin daima var olduğunu dikkate alarak yaşamaktır. Dünyada en fazla meydana gelen doğal afet türlerinden birisi de heyelanlardır. Bu nedenle, heyelan meydana gelebilecek alanların belirlenmesi, heyelan duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi ve yerleşim alanlarının bu doğrultuda planlanması son derece önemlidir.

Bu çalışmada, 9 parametre kullanılarak FR, LR ve WOFE yöntemleri ile HDH'lerin otomatik olarak üretilmesini sağlayan ve bunların doğruluğunu test eden kullanıcı arayüz programları geliştirilmiştir. Böylece dünyanın herhangi bir konumundaki heyelan duyarlılık analizinin geliştirilen bu programlar ile CBS ortamında kolaylıkla birkaç saat içerisinde tam otomatik olarak gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır. Çalışmalar ArcGIS 10.3 CBS yazılımı ve Matlab programla dili ile gerçekleştirilmiştir. Bu bakımdan mevcut literatürde bulunan nadir çalışmalardan birisi olma özelliğini taşımaktadır.

Diğer taraftan, geliştirilen kullanıcı arayüz programları ile HDH belirlenirken gerekli parametrelere ait alt sınıfların FR, WOFE değerlerinin ve LR analizi için  $\beta$  katsayılarının çıktısını vermektedir. Doğruluk değerlendirmesi için, geçmişte olmuş heyelanların yüzde kaçının analiz sonucu heyelanlı alanda bulunduğunu gösteren ve hata matrisi ile doğruluk hesaplayan kullanıcı arayüz programları da geliştirilmiştir.



Ayrıca literatüre bakıldığında gerek heyelan envanterlerinin kullanım şekli gerekse çalışma alanlarının bölünüp kullanılması ile ilgili birçok çalışma olup bunların uygulanması oldukça zaman almaktadır. Geliştirilen bu arayüz ile literatürde HDH üretilmesi ile ilgili ve uzun zaman alan çalışmalar çok kısa sürede gerçekleştirilebilir. Bu açılarından bakıldığında çalışma özgün değere sahiptir.

Sonuç olarak bu çalışma, gerek kullanılan parametreler açısından (9 parametre) gerekse uygulanan yöntemler açısından heyelan duyarlılık analizine farklı bir bakış açısı getirmektedir. Ayrıca, geliştirilen kullanıcı arayüz programları aracılığıyla gelecekte yapılacak çalışmalara önemli katkılar sağlanabilecektir.



## KAYNAKLAR

- AFAD.** (2015). Bütünleşik tehlike haritalarının hazırlanması Heyelan – Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu, Ankara.
- Akıncı, H., Özalp, Y.A., Özalp, M., Kılışoğlu, C., Everan, E., Kılışer, T.S.** (2014). Artvin İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi (Proje Sonuç Raporu). *Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü* Artvin.
- Akıncı, H., Özalp, Y.A., Özalp, M., Kılışer, T.S.** (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1 (1-2), 40-53.*
- Akgun, A., Sezer, E.A., Nefeslioğlu, H.A., Gokceoglu, C., ve Pradhan, B.** (2012), An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, *Computers and Geosciences* 38, 23-34
- Aksoy, B., ve Ercanoğlu, M.**(2012). Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey). *Computers & Geosciences*, 38, 87-98.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R.** (1999). Landslide hazard assessments: Summary review and new perspective, *Bulletin of Engineering Geology of the Environment*, 58, 21-44.
- Altural, T.** (2012) Coğrafi Bilgi Sistemiyle Akşehir (Konya) Çevresinin Heyelan Duyarlılık İncelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, (Yüksek Lisans Tezi), 112 s, Konya
- Ayalew, L., Yamagishi, H. ve Ugawa, N.** (2004). Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Weighted Linear Combination, The Case in Tsugawa Area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan, *Landslides*, 1, 73-81.
- Ayalew, L. ve Yamagishi, H.,** (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, 65, 15-31.
- Bai, S.B., Lu, G.N., Wang, J.A., Zhou, P.G., ve Ding, L.A.** (2011). GIS-based Rare Events Logistic Regression for Landslide-Susceptibility Mapping of Lianyungang, China, *Environmental Earth Sciences*, 62, 139-149.
- Barbieri, G., ve P, Cambuli.** (2009). The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy), *18th World IMACS / MODSIM Congress*, Cairns, Australia, 2658-2664.
- Begueria, S.,** (2006). Validation and Evaluation of Predictive Models in Hazard Assessment and Risk Management, *Natural Hazards*, 37, 315-329.
- Borouhaki, S. ve Malczewski, J.** (2008). Implementing an Extension of The Analytical Hierarchy Process Using Ordered Weighted Averaging Operators with Fuzzy Quantifiers in Arcgis, *Computers & Geosciences*, 34, 399-410.
- Che, V.D., Kervyn, M., Suh, C.E., Fontijn, K., Ernst, G.G.J., Del Marmol, M.A., Trefois, P. ve Jacobs, P.** (2012). Landslide susceptibility assessment in Limbe (SW Cameroon): A field calibrated seed cell and information value method. *Catena*, 92, 83-98.
- Chung, C. ve Fabbri, A. G.** (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogramm Eng. Rem.*, 65, 1389–1399.

- Colkesen, I., Sahin, K.E., ve Kavzoglu, T.** (2016). Susceptibility Mapping of Shallow Landslides Using Kernel-Based Gaussian Process, Support Vector Machines and Logistic Regression. *Journal of African Earth Sciences*, 118, 53-64.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J.** (1996). Landslide types and processes, in: Landslides. Investigation and Mitigation, edited by: Tuner, A. K. and Schuster, R. L., Special report of the Transportation Research Board. *Natural Research Council, National Academy Press, Washington DC*, 36–75.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., ve Xu, Z.W.** (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40(3), 381-391.
- Dai, F.C., ve Lee, C.F.** (2002). Landslide Characteristics and, Slope Instability Modeling Using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42, 213-228.
- Dağdelenler, G.** (2013). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem ve doğrulama stratejilerinin değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın doğu kesimi). *Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, (Doktora Tezi), 186s, Ankara.
- Dağ, S.** (2007). Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, (Doktora Tezi), 227s, Trabzon.
- Demir, G.** (2018). Landslide susceptibility mapping by using statistical analysis in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) on the northern part of Suşehri Town, Turkey. *Nat Hazards*. 92 (1), 133-154.
- Duman, t. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., ve Sonmez, H.** (2006). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environ Geol.* 51: 241–256.
- Erener, A., Düzgün, H.S.B.** (2007). Heyelan Analizlerinde Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regrasyon (CAR) Metodu, *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2007*.
- Erener, A., ve Lacasse, S.** (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS. *28th Asian Conference on Remote Sensing ACRS 2007*, Kuala Lumpur, Malesia.
- Erener A., ve Düzgün, H.S.B.** (2010). Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway). *Landslides*, 7(1), 55-68.
- Ercanoğlu, M.** (2003). Production of landslide susceptibility maps using fuzzy log and statistical methods: West Black Sea region (South of Kumlace – North of Yenice). *Geological Engineering Dept. Hacettepe University*, Ph.D. thesis, pp. 203.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., ve Van Asch, Th.W.J.** (2004). Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques. *Natural Hazards*, 32: 1–23.
- Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C.,** (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology* 75, 229–250.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z.** (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 3-4, 99-111.

- Gökçe, O., Özden, S., Demir, A.** (2008). Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.
- Gökçeoglu, C., ve Aksoy, H.** (1996). Landslide susceptibility mapping of the slopes in the Residuel soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques, *Engineering Geology*, 44, 147-161
- Gökçeoğlu, C., ve Ercanoğlu, M.** (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., ve Reichenbach, P.** (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Hacisalihoğlu, S.** (2011). Türkiye’de arazi kullanımı ve heyelan ilişkisi: Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği. *Anahtar*, cilt.23, ss. 13-19.
- Hasekiğulları, G. D. Ve Ercanoğlu, M.** (2012). A new approach to use AHP in landslide suscepibility mapping: a case study at Yenice (Karabük, NW Turkey), *Natural Hazards*, 63, 1157-1179.
- Hartlen, J. ve Viberg, L.** (1988). General Report: Evaluation of landslide hazard. Proc. V. Int. Symp. on Landslides. *Lausanna*, 2, 1037-1057.
- Hastaoğlu K. Ö., Türk T., Koçbulut F., Şanlı F., Poyraz F., Yılmaz I., Şanlı D.U.** (2015). ‘GNSS ve PS-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Heyelanların İzlenmesi ve Afet Bilgi Sistemi Tabanlı Risk Analizlerinin Gerçekleştirilmesi: Koyulhisar (Sivas) Heyelanları. *TÜBİTAK 111Y111 Numaralı Proje Sonuç Raporu*. Sivas.
- Hosmer, D.W. ve Lemeshow, S.** (1989). Applied regression analysis, Wiley, New York.
- İpbüker, C. ve Şahin, K. Ş.** (2016). Özellik seçimi algoritmaları kullanarak heyelan duyarlılık haritası için bir model geliştirme. *TÜBİTAK 114Y722 Kodlu Proje Sonuç Raporu*, 95, İstanbul.
- Jimenez-Peralvarez, J.D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., ve Chacon, J.** (2009). Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS, *Nat Hazards*, 50:571–590.
- Kavzoglu, T., Şahin, E.K., Çölkesen, İ.** (2010). CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği, 3. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Gebze, Kocaeli.
- Kavzoglu, T., Şahin, E. K., ve Colkesen, I.** (2012). Heyelan duyarlılığının incelenmesinde regresyon ağaçlarının kullanımı:Trabzon örneği, *Harita Dergisi*, 147, 21-33.
- Kavzoglu, T., Şahin, E.K., Çölkesen, İ.** (2015) Selecting optimal conditioning factor in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm. *Engineering Geology*, 192, 101-112.
- Kleinbaum, D. G., Kupper L. L., Muller K. E., Nizam A.** (1998) Applied regression analysis and multivariable methods, 3rd Edition, *Duxbury Press*, California, 798.
- Lee, S., ve Min, K.** (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea, *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K.,** (2002). Landslide Susceptibility Analysis and Verication Using the Bayesian Probability Model, *Enviromental Geology*, 43, 120-131.

- Lee, S., Choi, J., ve Min, K.** (2004). Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 25(11), 2037-2052.
- Lee, S.,** (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, (7-10), 1477-1491.
- Lee, S., ve Talib, J. A.** (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, *Environ Geol* 47: 982–990
- Lee, S., ve Pradhan, B.** (2006). Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia, *Earth system science*, 115 (6), 661–672.
- Nandi, A., ve Shakoor, A.** (2009). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, *Eng Geol*, 110, 11-20.
- Özdemir, A.** (2011). Landslide susceptibility mapping using Bayesian approach in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Nat Hazards*, 59,1573–1607.
- Özdemir, A. ve Altural, T.** (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*,64,180-192.
- Pachauri, A.K., ve Pant, M.** (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Pachauri, A. K., Gupta, P. V. ve Chander, R.** (1998) Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas, *Environmental Geology*, 36, 325-334.
- Poudyal, C.P., Chang, C., Oh, H., ve Lee, S.** (2010). Landslide susceptibility maps comparing frequency ratio and artificial neural networks: a case study from the Nepal Himalaya, *Environ Earth Sciences*, 61:1049-1064.
- Pradhan, B., ve Lee, S.** (2009). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, *Environ Earth Sciences*, 60:1037-1054.
- Pradhan, B., Lee, S.** (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling and Software*, 25 (6), 747–759.
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. ve Vitek, J. D.** (2010). Modeling susceptibility to landslide using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115, 172–187.
- Saha, A.K., Gupta, R.P., ve Arora, M.K.** (2002). GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas, *International Journal of Remote Sensing*, 23(2), 357-369.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D. ve Marturia, J.** (2003). A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain), *Natural Hazards*, 30, 281-295.
- Sendir, H. ve Yılmaz, I.,** (2001). Koyulhisar (Sivas) heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri*, 18, 1, 47-54.
- Sendir H. ve Yılmaz I.** (2002). Structural, geomorphological and geomechanical aspects of the Koyulhisar landslides in the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey) . *Env Geol*, 42,52–60.
- Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., ve Osna, T.** (2017). An expert- based landslide susceptibility mapping (LSM) module developed for Netcad Architect Software. *Computer and Geosciences* 98, 26-37

- Soeters, R. ve Van Westen C. J.** (1996). Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), Landslides, investigation and mitigation, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, *National Academy Press*, Washington D.C., U.S.A., pp 129-177.
- Şahin, E.K.** (2017). Özellik seçimi algoritmaları kullanılarak heyelanda etkili faktörlerin belirlenmesi ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı*, (Doktora Tezi), 253s, İstanbul.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U. ve Korme, T.** (2001). Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to The Landslides in The Wondogenet Area, *Ethiopia. Phys.Chem.Earth(C)*, 26,9 665-675.
- Terranova, O.G., Gariano, S.L., Bruno, C., Greco, R., Pellegrino A.D., ve Lovine, G.G.R.** (2016). Landslide-risk scenario of the Costa Viola mountain ridge (Calabria, Southern Italy), *Journal of Maps*, Vol. 12, No. S1, 261–270.
- Türk, T., Görüm T.** (2015). Optik Uydu Görüntüleri Yardımıyla Heyelan Alanlarında Meydana Gelen Yatay Yer Değiştirmelerin Belirlenmesi: Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) (Sivas İli Koyulhisar İlçesi ve Civarı) Örneği *TÜBİTAK 113Y188 Numaralı Proje Sonuç Raporu*. Sivas.
- Van Westen, C.J., ve Bonilla, J.B.A.** (1990). Mountain hazard analysis using a PC-based GIS. Proceedings of the 6th International Congress of Engineering Geology. 6-10 August 1990, Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), *Balkema*, 265-271.
- Van Westen C.J.** (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price MF, Heywood DI (eds) Geographical information systems in landslide hazard zonation GIS applications for mountain areas. *Taylor and Francis*, London, pp 135–165.
- Van Westen, C., Rengers, N., Terlien, M. T. J. ve Soeters, R.** (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geol Rundsch*, 86:404-414.
- Van Westen, C., Rengers, N. ve Soeters, R.** (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, *Natural Hazards*, 30, 399-419.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L.** (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview, *Engineering Geology*, 102: 112-132.
- Varnes, D.J.** (1978). Slope movements: types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(Eds.), *Landslide Analysis and Control*. Transportation Research Board, Special Report No. 176, Washington, DC, pp. 11–33.
- Varnes, D. J.** (1984). Landslide hazard zonation: A review of principles and practices commission on landslides of the IAEG, *UNESCO*, Paris.
- Yilmaz, I.** (2009), Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat –Turkey), *Computer and Geosciences*, 35, 1125-1138
- Yilmaz, I.** (2010) Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine, *Environ Earth Sciences* 61:821-836



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Derya Dilara KÖSE
Doğum Yeri ve Tarihi	ARTVİN, 07.10.1993
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Sivas
E-posta Adresi	dilakose8@gmail.com

### Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi, Erzurum, 2007-2011
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Sivas, 2012-2016
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği A.B.D, Sivas, 2016

### İş Tecrübesi

Harita Genel Komutanlığı	Stajyer Mühendis, 07.2014-08.2014
Erzurum Büyükşehir Belediyesi	Stajyer Mühendis, 07.2015-08.2015

## **Yayınlar**

### **Ulusal**

**Köse, D. D.**, Birdal, A. C. ve Türk, T. (2017). Kent Bilgi Sistemi (KBS) Çalışmalarında Kullanıcı Dostu Arayüz Programlarının Geliştirilmesi: Erzurum İli Örneği Yayın Yeri: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Ulusal Hakemli Endeks: TR DİZİN Özgün Makale

## **Kongreler ve Bildiriler**

### **Ulusal**

**Köse, D. D.** ve Türk, T. (2017). Kent Bilgi Sistemi (KBS) Çalışmalarında Kullanıcı Arayüz Programının Gerekliliği: Erzurum İli Örneği. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) 9. Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3451075)

### **Uluslararası**

**Köse, D. D.** ve Türk, T. Automatically Landslide Susceptibility Analysis by GIS (18.10.2017- 21.10.2017), Yayın Yeri: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GIS APPLICATIONS IN GEOGRAPHY AND GEOSCIENCES Uluslararası Özet bildiri/Sözlü Sunum.

**KÖSE, D. D.**, TÜRK, T., FULLY-AUTOMATIC LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS BY GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS): A CASE STUDY IN ŞAVŞAT CITY, TURKEY, 15-16.05.2018, Yayın Yeri: 4th International Scientific Conference Geobalcanica 2018 Uluslararası Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum.

## **Görev Aldığı Projeler**

**CÜBAP; Proje No: M680**, “Heyelan Duyarlılık Haritalarının Geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Programlarıyla İncelenmesi: Koyulhisar Örneği”, Tamamlandı, 2018