



T.C.

**SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PS-INSAR VE GNSS VERİLERİ KULLANILARAK HEYELAN
DUYARLILIK HARİTALARININ DOĞRULUNUN
ARAŞTIRILMASI: KOYULHİSAR ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Şeyma CEYLAN
(201592211447)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

**SİVAS
OCAK 2019**

Şeyma CEYLAN'ın hazırladığı ve “PS-INSAR VE GNSS VERİLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI: KOYULHİSAR ÖRNEĞİ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Ömer YILDIRIM**
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi İsmail Ercüment AYAZLI**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

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

Prof.Dr. İSMAİL ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas 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, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-681 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Şeyma CEYLAN, 2019

ETİK

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

- ✓ 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 yararlanılması 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.

03.01.2019

Şeyma CEYLAN

ÖZET

PS-INSAR VE GNSS VERİLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI: KOYULHISAR ÖRNEĞİ

Şeyma CEYLAN

Yüksek Lisans Tezi

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2019, 110+xiv sayfa

Heyelanlar, en etkili doğal afetlerden olup can ve mal kaybına yol açmaktadır. Son yıllarda özellikle bu kayıpları azaltmak amacıyla çeşitli yöntemlerle heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bu çalışmada, Koyulhisar ilçesinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı, Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında veri kümeleri kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının gerçek deformasyon alanlarını yansıtmakta ne kadar başarılı olduğunun araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Sivas/Koyulhisar heyelan sahası için heyelana neden olan parametreler değerlendirilmiş ve üç farklı heyelan duyarlılık senaryosu üretilmiştir. Değerlendirmelerde bölgeye ait eğim, litoloji, bakı, yükseklik, faylardan uzaklık, topografik nemlilik indeksi (TWI), normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), plan eğriselliği, profil eğriselliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi (LS), akarsu gücü indeksi (SPI) parametreleri dikkate alınmıştır. Sonuç haritasını doğrulamak için ise Sivas/Koyulhisar heyelan sahasına ait heyelan verisi, global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) ve sabit saçıcı interferometre (PSI) sonuçları kullanılarak üretilen verilere ait haritalar kullanılmıştır. Sonuçların doğruluk ölçümü ise alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrisi ile sağlanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. AHP ile üç farklı ağırlıklandırma sonucunda üretilen heyelan duyarlılık haritalarının GNSS ve PSI verisi ile doğrulanması sonucu ROC eğrisi altında kalan alanlar 0,515 ile 0,564 arasında değişen değerlere sahiptir.

Doğruluk ölçümü için mevcut heyelan verisi kullanıldığında ise sonuç haritaları için ortalama 0,73 değeri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra heyelan verisi ve jeodezik verilerden oluşturulan harita kullanıldığında ise sonuçlar 0,8 değerine yaklaşmaktadır. Sonuç olarak, heyelan envanter haritasına jeodezik veriler ile elde edilen mevcut lokal deformasyon bölgeleri eklendiğinde daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Anahtar kelimeler: GNNS, PS-InSAR, Heyelan, AHP



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS USING GNSS AND PS-INSAR TECHNIQUES: THE CASE OF KOYULHISAR

Şeyma CEYLAN

Master of Science Thesis

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2019, 110+xiv pages

Landslides are one of the most effective natural disasters, and they lead to loss of life and property. In recent years, susceptibility maps have been produced by various methods to reduce especially these losses. Geographic Information Systems (GIS) based Analytic Hierarchy Process (AHP), one of Multi-Criteria Decision Making Methods, was used to produce landslide susceptibility maps of Koyulhisar district in this study. The main purpose of this study was to investigate how successful the landslide susceptibility maps produced using datasets are in reflecting the real deformation areas. In line with this purpose, the parameters causing landslides for Sivas/Koyulhisar landslide area were evaluated, and three different landslide susceptibility scenarios were produced. The parameters of slope, aspect, elevation, lithology, topographic wetness index (TWI), distance to faults, normalized difference vegetation index (NDVI), plan curvature, profile curvature, sediment carrying capacity index (LS), stream power index (SPI) of the region were taken into account using the AHP method in evaluations. The maps of the data produced using the global navigation satellite system (GNSS) and persistent scatterer interferometry (PSI) results and landslide data of Sivas/Koyulhisar landslide area were used to validate the resulting map. The accuracy measurement of the results was provided by the receiver operating characteristic (ROC) curve and the obtained results were examined. In accordance with these results, the areas under the ROC curve for the AHP landslide susceptibility maps

generated as a result of three different weighting data have values ranging between 0.515 and 0.564 for GNSS-PSI data. The accuracies of the landslide susceptibility maps were found as average 0.73 for landslide data. On the other hand the accuracies of the landslide data and geodesic datas results approach to 0.8 for susceptibility maps. In the end of study, better results are obtained by adding the existing local deformation zones obtained by geodetic data to the landslide inventory map.

Keywords: GNSS, PS-InSAR, Landslides, AHP



TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Bu tezin arazi çalıŐmalarıyla ilgili olarak gerektiğinde desteklerini gördüğüm Jeoloji Yüksek Müh. Mehmet DEMİREL' e ve her aşamada beni yürekten destekleyen aileme;

Ayrıca, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na da tezimizi M-681 numaralı proje olarak verdikleri destek nedeniyle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.2 Çalışma Alanı	4
1.3 Litolojik Özellikler	5
1.4 Önceki Çalışmalar	11
1.4.1 Heyelanlar ve analitik hiyerarşi süreci ile ilgili yapılmış çalışmalar .	11
1.4.2 PS-InSAR ve GNSS ile ilgili yapılmış çalışmalar	18
2. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	24
2.1 Çok Ölçütlü Karar Analizi	24
2.1.1 Analitik hiyerarşi yöntemi.....	25
2.2 Frekans Oranı	31
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİ KÜMESİ VE SONUÇ HARİTALARININ OLUŞTURULMASI	33
3.1 Heyelan Haritasının Hazırlanması	35
3.2 Jeoloji.....	38
3.3 Faylardan Uzaklık	40
3.4 Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi.....	43
3.5 Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) Üretilen Veriler	46
3.5.1 Eğim.	47
3.5.2 Yükseklik	50
3.5.3 Bakı... ..	53
3.5.4 Topografik nemlilik indeksi	56
3.5.5 Plan eğriselliği.....	59
3.5.6 Profil eğriselliği.....	61
3.5.7 Sediman taşıma kapasitesi indeksi	63
3.5.8 Akarsu gücü indeksi	65
3.6 Jeodezik Verilerin Elde Edilmesi	68
3.6.1 Global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) verisi	68
3.6.2 PSInSAR	79
3.7 AHP Yöntemiyle Verilere Ait Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıklar	85
4. HEYELAN DUYARLILIK MODELLERİNİN DOĞRULANMASI	94
5. SONUÇLAR	101
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışma Sahasının konumunu gösterir yer bulduru haritası.	4
Şekil 1.2 Koyulhisar'a ait genel görünüm.	5
Şekil 1.3 Çalışma alanına ait jeoloji haritası (Demirel, 2015).	6
Şekil 1.4 Aşağıkale formasyonuna ait genel görünüm.	7
Şekil 1.5 Düdenyaylası formasyonuna ait genel görünüm.	8
Şekil 1.6 Koyulhisar formasyonuna ait genel görünüm.	8
Şekil 1.7 Dumanlıca formasyonuna ait genel görünüm.	9
Şekil 1.8 Alüvyon formasyonuna ait genel görünüm (Hastaoglu vd.,2015).	10
Şekil 1.9 Heyelan içerisinde meydana gelen gerilme çatlağı (Hastaoglu vd., 2015).	11
Şekil 2.1 Analitik hiyerarşi süreci iş akışı (Taş vd., 2017).	26
Şekil 3.1 Çalışmaya ait iş akışı.	34
Şekil 3.2 Çalışma alanına ait heyelan dağılımları.	37
Şekil 3.3 Çalışma alanına ait litoloji sınıfları yüzde dağılım grafiği.	38
Şekil 3.4 Çalışma alanına ait jeoloji haritası.	39
Şekil 3.5 Çalışma alanına ait faylardan uzaklık haritası.	41
Şekil 3.6 Çalışma alanına ait faylardan uzaklık sınıfları yüzde dağılım grafiği.	42
Şekil 3.7 Çalışma alanına ait normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi haritası.	44
Şekil 3.8 Çalışma alanına ait normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.	45
Şekil 3.9 Sayısal yükseklik modelinde oluşabilen boşluk.	46
Şekil 3.10 Boşlukların doldurulması.	47
Şekil 3.11 Çalışma alanına ait eğim haritası.	48
Şekil 3.12 Çalışma alanına ait eğim sınıfları yüzde dağılım grafiği.	49
Şekil 3.13 Çalışma alanına ait yükseklik haritası.	51
Şekil 3.14 Çalışma alanına ait yükseklik sınıfları yüzde dağılım grafiği.	52
Şekil 3.15 Çalışma alanına ait bakı haritası.	54
Şekil 3.16 Çalışma alanına ait bakı sınıfları yüzde dağılım grafiği.	55
Şekil 3.17 Çalışma alanına ait topografik nemlilik indeksi haritası.	57
Şekil 3.18 Çalışma alanına ait topografik nemlilik indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.	58
Şekil 3.19 Çalışma alanına ait plan eğriselliği sınıfları yüzde dağılım grafiği.	59
Şekil 3.20 Çalışma alanına ait plan eğriselliği haritası.	60
Şekil 3.21 Çalışma alanına ait profil eğriselliği sınıfları yüzde dağılım grafiği.	61
Şekil 3.22 Çalışma alanına ait profil eğriselliği haritası.	62
Şekil 3.23 Çalışma alanına ait sediman taşıma indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.	63
Şekil 3.24 Çalışma alanına ait sediman taşıma kapasitesi indeksi haritası.	64
Şekil 3.25 Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi haritası.	66
Şekil 3.26 Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.	67

Şekil 3.27 Binalarda meydana gelen deformasyonlar.	69
Şekil 3.28 Tesis edilen GNSS noktaları (Hastaoglu vd.,2015).....	70
Şekil 3.29 Heyelan sahasına tesis edilen GNSS noktaları (51 adet).....	71
Şekil 3.30 Binalarda meydana gelen deformasyonlar (Hastaoglu vd.,2015).....	74
Şekil 3.31 GNSS noktalarından enterpole ile oluşturulan yükseklik bileşenine ait harita.....	75
Şekil 3.32 GNSS noktalarından enterpole ile oluşturulan kuzey bileşenine ait harita.....	76
Şekil 3.33 GNSS noktalarından enterpole ile oluşturulan doğu bileşenine ait harita.....	77
Şekil 3.34 GNSS (kuzey, doğu ve yükseklik) haritalarının bileşimiyle oluşturulan harita.....	78
Şekil 3.35 StaMPS yazılımı ile değerlendirilen TerraSAR görüntüleri ve seçilen master görüntüden tarih ve baz mesafesi farkları (Hastaoglu vd., 2015)..	79
Şekil 3.36 TerraSAR-X Stripmap 130 iz numaralı uyduya ait değerlendirme sonucu elde edilen PS noktaları ve bu noktalara ait hız değerleri.....	81
Şekil 3.37 PS noktalarından elde edilen enterpole harita.	82
Şekil 3.38 TerraSAR-X & GNSS haritası.	83
Şekil 3.39 Çalışma alanına ait heyelan & TerraSAR-X & GNSS haritası.	84
Şekil 3.40 AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası (AHP_1).....	88
Şekil 3.41 AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası (AHP_2).....	90
Şekil 3.42 AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası (AHP_3).....	91
Şekil 3.43 Heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımları.	92
Şekil 3.44 Çalışma sonrası sahada meydana gelen heyelanlar.	93
Şekil 4.1 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_1) ve PS-GNSS doğrulama sonuçları.....	96
Şekil 4.2 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_2) ve PS-GNSS doğrulama sonuçları.	96
Şekil 4.3 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_3) ve PS-GNSS doğrulama sonuçları.	97
Şekil 4.4 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_1) ve heyelan alanları doğrulama sonuçları.	97
Şekil 4.5 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_2) ve heyelan alanları doğrulama sonuçları.	98
Şekil 4.6 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_3) ve heyelan alanları doğrulama sonuçları.	98
Şekil 4.7 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_1) ve heyelan& PS-GNSS doğrulama sonuçları.	99
Şekil 4.8 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_2) ve heyelan& PS-GNSS doğrulama sonuçları.	99
Şekil 4.9 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_3) ve heyelan & PS-GNSS doğrulama sonuçları.....	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Analitik hiyerarşi süreci değerlendirme ölçeği.....	28
Çizelge 2.2	Random gösterge değerleri	30
Çizelge 3.1	Heyelan sınıflaması (Varnes,1978).....	35
Çizelge 3.2	Litoloji verisine ait frekans oranı değerleri	40
Çizelge 3.3	Faylardan uzaklık verisine ait frekans oranı değerleri.....	43
Çizelge 3.4	Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi verisine ait frekans oranı değerleri.....	45
Çizelge 3.5	Eğim verisine ait frekans oranı değerleri.....	50
Çizelge 3.6	Yükseklik verisine ait frekans oranı değerleri.....	52
Çizelge 3.7	Bakı verisine ait frekans oranı değerleri.....	55
Çizelge 3.8	Topografik nemlilik indeksi verisine ait frekans oranı değerleri.....	58
Çizelge 3.9	Plan eğriselliği verisine ait frekans oranı değerleri	59
Çizelge 3.10	Profil eğriselliği verisine ait frekans oranı değerleri	61
Çizelge 3.11	Sediman taşıma kapasitesi indeksi verisine ait frekans oranı değerleri.....	65
Çizelge 3.12	Akarsu gücü indeksi verisine ait frekans oranı değerleri.....	67
Çizelge 3.13	GNSS noktalarına ait yıllık hız değerleri (Hastaoglu vd., 2015'ten) ...	73
Çizelge 3.14	Verilere ait ikili karşılaştırma matrisi (AHP_1)	85
Çizelge 3.15	İkili karşılaştırma matrisine ait normalize edilmiş matris değerleri ve ağırlık değerleri.....	86
Çizelge 3.16	Verilere ait ikili karşılaştırma matrisi (AHP_2)	89
Çizelge 3.17	Verilere ait ikili karşılaştırma matrisi (AHP_3)	89
Çizelge 4.1	ROC analizi için karar matrisi.....	95

1. GİRİŞ

Türkiye'nin mevcut jeolojik durumu, topografik yapısı ve iklim özellikleri sebebiyle doğal afetlerle karşı karşıya kalması kaçınılmaz bir gerçektir. Bu doğal afetlerin başında deprem, heyelan, sel, çığ düşmesi gelmektedir ve bölgelere göre hangi doğal afetin meydana geldiği de değişim göstermektedir.

Heyelanın etkisi ülkemizde öncelikle Karadeniz bölgesinde daha sonra İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde sıkça açığa çıkmaktadır. 1958 ve 2000 yılları döneminde heyelanlardan 4250 yerleşme birimi etkilenmiştir ve ülkemizde heyelan tehlikesi yüksek olan iller arasında Sivas, 137 olay sayısı ve 8200 riske maruz kalan nüfus sayısına sahiptir (Ergünay, 2007).

Doğal afet, insan yaşamını olumsuz bir şekilde etkileyen ve tüm canlılar ve çevre üzerinde kayıplar yaratan doğal olaylar olarak tanımlanabilir. Ülkemizde sık sık meydana gelen doğal afetlerin başında yer alan heyelanlar birçok can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Afet yönetimi kapsamında heyelanların neden olduğu zararları azaltmak amacıyla heyelan duyarlılık, risk ve tehlike analizleri önem arz etmektedir.

Kütle hareketinin bir örneği olan heyelanlar yer çekiminin etkisiyle kütlelerin yamaç aşağı hareketini ifade eder. Cruden (1991), heyelanı şöyle tanımlamaktadır: "Heyelan, kaya veya moloz kütlelerinin yamaç aşağı hareketidir". Heyelanların oluşmasında dış etkenlerin dışında temel neden yerçekimidir.

Günümüzde heyelanlar en fazla can ve mal kaybına sebep olan doğal afetlerden biridir. Bazı heyelanlar daha yavaş hareket etmesine rağmen neden olduğu ekonomik zarar daha fazla olabilir. Heyelanların meydana gelme sebebi çoğunlukla doğal kökenlidir ve deprem, aşırı yağışlar, volkanik aktivite gibi doğa olayları heyelanları tetikleyerek kayıpların artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Uzun süren yağmurlar veya ilkbaharda donmadan sonra heyelan hareketliliği artış gösterir. Bunun yanı sıra ormanların yok edilmesi, bir şevin topuğunda kazı yapmak gibi insan faaliyetleri de heyelanları tetikleyebilir (Rahn, 2006).

Heyelanlara etki eden faktörler arasında jeolojik yapı, iklim, yağış, bitki örtüsü, bölgenin topografyası gibi parametreler, doğal etmenleri oluşturmaktadır. Bunun dışında insan faaliyetleri de heyelanları tetikleyici olabilir. Hızlı nüfus artışı sonucu kentsel alanlarda eğimli yamaçlar üzerine yapılan kaçak yapılar, yol inşaatları, ağaçların tahribi gibi birçok neden sayılabilir (Ergünay, 2007).

Schuster (1996), heyelanların etkilerini inceleyerek, can kayıpları ve ekonomik kayıplar olmak üzere heyelan sonuçlarını iki aşamada değerlendirmiştir. Can kayıplarını ve gözlenebilen hasarları, doğrudan meydana gelen zararlar şeklinde ele almıştır. Heyelan sonucu dolaylı açıdan meydana gelen zararları ise;

- Sanayi, tarım gibi alanlarda oluşan üretim kayıpları,
- Ulaşım hatlarının zarar görmesiyle ürünlerin ve ham maddelerin zamanında ulaştırılamaması, heyelan meydana gelmiş bölgelerde binaların değerinin azalması, turistik bölgelerin gelirlerinin azalması,
- Heyelana duyarlı alanlarda önlem için yapılan harcamalar,
- Can kayıpları, yaralanma ve travmalar sebebiyle oluşan iş gücü kayıpları olarak gruplandırılabilir (Ulusay, 2007).

Son yıllarda CBS teknolojisinin de gelişmesiyle heyelan ile ilgili çalışmalar büyük oranda hız kazanmıştır. Heyelan ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, birçok heyelan duyarlılık, tehlike ve risk analizleri yapılmıştır.

Heyelan oluşumuna karşı eğilimi ifade eden heyelan duyarlılık, gelecekte hangi olası alanlarda heyelanın meydana geleceğini gösteren ve heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerin değerlendirilmesiyle oluşturulmaktadır (Varnes, 1984; Aleotti ve Chowdhury, 1999). Heyelanın duyarlılık analizinin yapılması özellikle meydana gelebilecek kayıpları en aza indirmek açısından önemlidir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

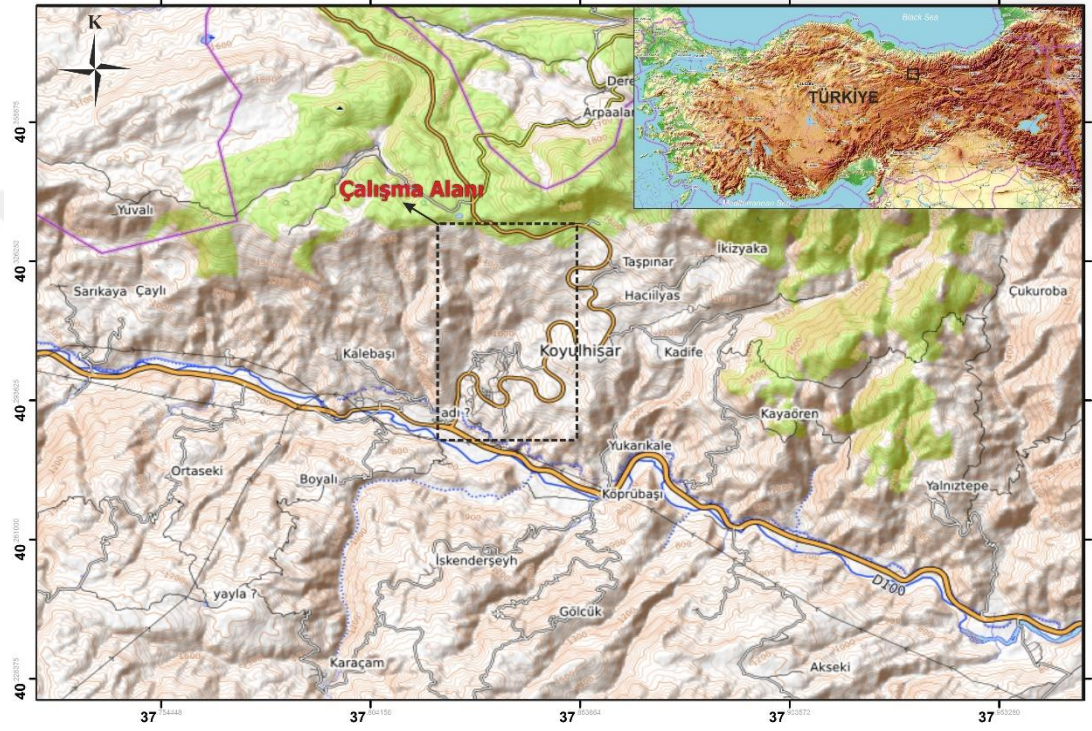
Analitik Hiyerarşi yöntemi kullanılarak üretilen Koyulhisar ilçesine ait heyelan duyarlılık analizi kapsamında tez çalışmasının amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sivas ili Koyulhisar ilçesindeki heyelana neden olan faktörlerin belirlenerek heyelan duyarlılık haritası için gerekli olan katman haritalarının üretilmesi,
- Heyelan envanter haritası ile katman verileri birlikte değerlendirilerek heyelanlarla olan ilişkisinin ortaya konulması,
- Hem nicel hem de nitel bilgilerin beraber kullanılmasına olanak sağlayan AHP yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapılması,
- Elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının başarısını test etmek için GNSS, PSInSAR ve heyelan verileri ile karşılaştırılarak Eğri Altındaki Alan (EAA) değerinin belirlenmesi,
- Bu tez çalışmasının ana amacı, litoloji dışında çoğu stereo uydu görüntüsünden üretilen (eğim, bakı, yükseklik, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi vb.) veriler kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının gerçek deformasyon alanlarını yansıtmakta ne kadar başarılı olduğunun araştırılmasıdır.

Nicel ve nitel bilgilerin beraber kullanılmasına olanak sağlayan AHP yönteminin ise birçok avantajı bulunmaktadır. Karmaşık problemlerde karar verme için kullanılan AHP yöntemi matematiksel bir kuramdır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesini önemli bir şekilde kolaylaştıran analiz, sentez ve görselleştirme ile birlikte AHP'nin de entegre edilerek modellerin geliştirilmesi açısından güçlü bir araçtır.

1.2 Çalışma Alanı

Çalışma alanı 1/25000 ölçekli Giresun H39-b4 paftası sınırları içinde bulunan ve Koyulhisar ilçe merkezi ve civarını kapsayan bir alandır. Sivas'ın Koyulhisar ilçesi, batıda Reşadiye (Tokat), doğuda Suşehri (Sivas), güneyde Zara-Doğanşar (Sivas), kuzeyde Mesudiye (Ordu) ile çevrilidir. Koyulhisar ilçe merkezi Sivas'a 180 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma sahasının konumunu gösterir yer bulduru haritası.

Dağlık bir bölgede yer alan Koyulhisar ilçesi, Kuzey Anadolu Fay Kuşağında yer almaktadır ve çok sayıda fay bulunmaktadır. Bölgede eğimli alanların fazla olması ve orman toprak yapısının bulunmasından dolayı meydana gelen erozyonlar sebebiyle ilçede tarıma uygun alanlar çok azdır (Yürüdü, 2008). Koyulhisar ilçesine ait genel görüntüler Şekil 1.2'de verilmiştir.

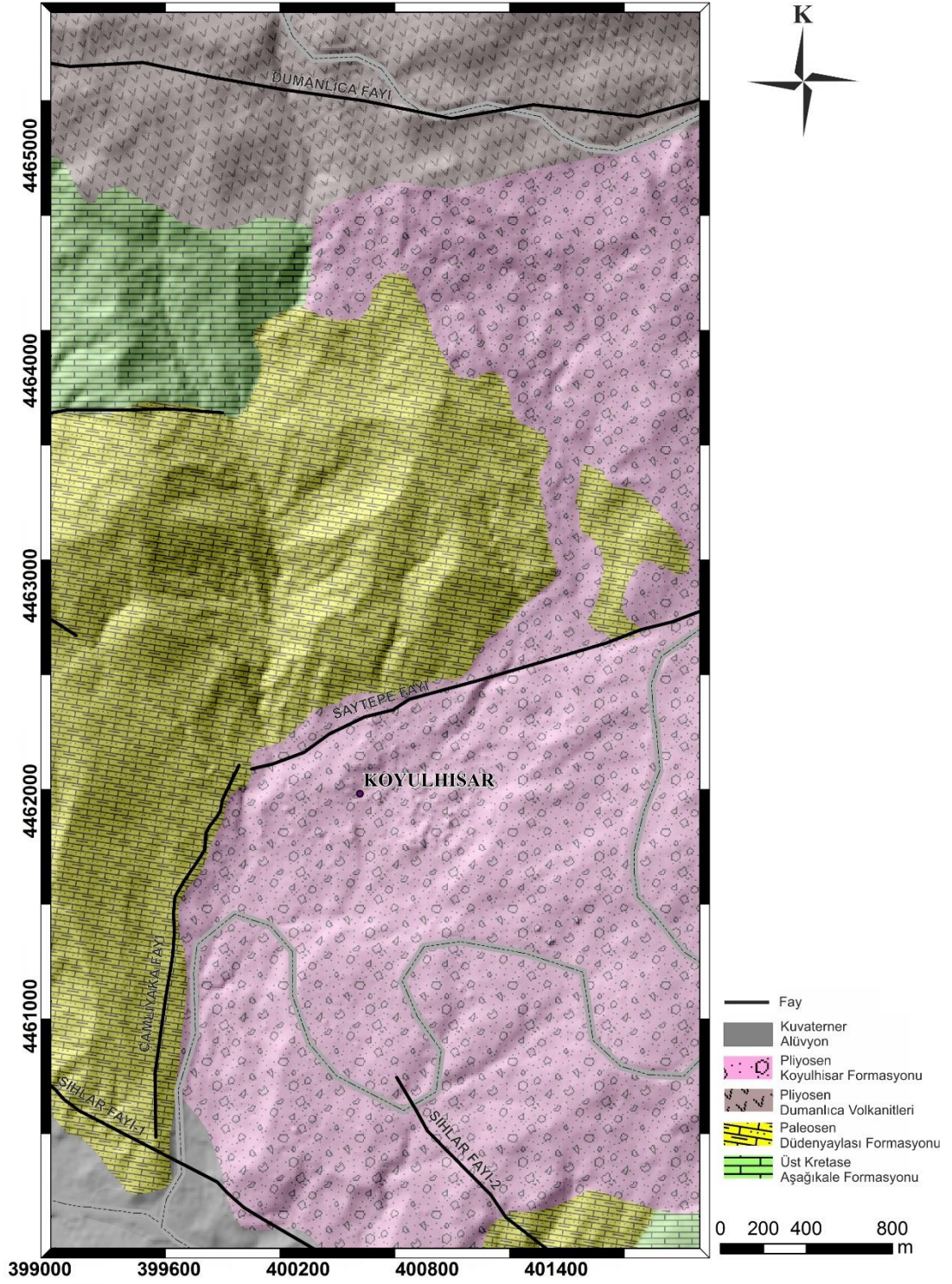


Şekil 1.2 Koyulhisar'a ait genel görünüm.

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde yer alan Koyulhisar, yüksek dağların yer aldığı ve ormanlık alanların bulunduğu bir bölge olup, ilçenin sıklıkla heyelanlarla karşı karşıya kaldığı gözlenmektedir. Ağır kış mevsiminden sonra ise çoğunlukla ilçenin kuzeyinde moloz akmaları şeklinde kaymalar daha çok gözlenmektedir (Sendir ve Yılmaz, 2001; Hastaoglu vd., 2015).

1.3 Litolojik Özellikler

Bölgeye ait 1/25000 ölçekli H39-b4 topoğrafik harita kullanılarak arazi çalışmaları ile birlikte litoloji birimleri tanımlanmış ve topoğrafik harita üzerine işlenerek sınırları çizilmiştir (Demirel, 2015). Çalışma alanına ait jeoloji haritası Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3 Çalışma alanına ait jeoloji haritası (Demirel, 2015).

Çalışma alanını içeren 5 farklı formasyon bulunmaktadır. Toprak (1988), tarafından tanımlanan Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale Formasyonunda birim aglomera, bazaltik lav akıntıları ardalanması ile başlar ve aglomera, tuf ardalanması ile devam ederek daha üst kısımlarda ise aglomera kumtaşı ardalanması ve bazaltik lav akıntılarında oluşur (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Aşağıkale formasyonuna ait genel görünüm.

Çalışma alanında Koyulhisar formasyonundan sonra, % 29,656'lık bir oranla büyük bir alansal dağılıma sahip olan Düdenyaylası Formasyonu Toprak (1988) tarafından tanımlanmıştır. Orta-üst Paleosen yaşlı olan birim kumlu kireçtaşı ile başlayarak marn, siltli-kireçtaşı, silttaşı şeklinde ardalanmalı olarak devam eder (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Düdenyaylası formasyonuna ait genel görünüm.

Çalışma alanında Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar Formasyonu (Şekil 1.6) % 45,057'lik alansal dağılımıyla en fazla orana sahiptir. Gevşek dokulu aglomera-tüf, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeralardan oluşan bu birim Koyulhisar merkezini ve çevresini kapsamaktadır (Hastaoglu vd., 2015).



Şekil 1.6 Koyulhisar formasyonuna ait genel görünüm.

Çalışma alanının kuzeyinde bulunan Dumanlıca Formasyonu (Şekil 1.7) ilk olarak Terlemez ve Yılmaz (1980), tarafından adlandırılmış olup, andezitik-bazaltik karakterli volkaniklerden oluşmaktadır (Terzioğlu, 1986).



Şekil 1.7 Dumanlıca formasyonuna ait genel görünüm.

% 2,330 ile en az alansal dağılıma sahip olan Alüvyon (Şekil 1.8), Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişmiş olup çakıl, kum ve siltlerden oluşmaktadır (Uysal vd., 1995).



Şekil 1.8 Alüvyon formasyonuna ait genel görünüm (Hastaoglu vd., 2015).

Çalışma alanının içerisinde yer almayan ancak alanın güney kesiminde yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonu bölgede kırık ve çatlak gibi süreksizliklerin gelişmesinde önemli bir etkidir. Bölgede yer alan kayaların litolojik özelliklerinin yanı sıra yoğun aktif faylanmaya bağlı olarak şekillenen morfolojiden dolayı heyelanlar büyük risk oluşturmaktadır. Koyulhisar ilçesinde heyelanların meydana gelmesinde yağışlar ve bitki örtüsü etkin bir rol oynamaktadır. 1998 ve 2000 yılı heyelanlarından önce gerçekleşmiş olan bol yağışlı dönemlerden sonra kırık ve çatlakların su ile dolarak, buralarda kayma düzlemlerinde hareketin oluşmasına etki etmiş ve şevler üzerinde bulunan yoğun ormanlık bölgeler, yağışlı sezonda ve karların erimesi sırasında suyun şev aşağı akışını yavaşlatmış ve suyun toprak malzemenin içerisine doğru sızmasını kolaylaştırmıştır. Böylece yamaçta kaymayı oluşturan kuvvetler artmıştır (Sendir ve Yılmaz 2002; Hastaoglu vd., 2015). Heyelan içerisinde meydana gelen gerilme çatlaklarını gösteren örnek Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9 Heyelan içerisinde meydana gelen gerilme çatlakları (Hastaoglu vd., 2015).

1.4 Önceki Çalışmalar

Tez çalışmasının bu bölümünde literatür kısmı iki bölüme ayrılarak, ilk bölümde heyelanlar ve AHP ile ilgili çalışmalar yer alırken ikinci bölümde ise PS-InSAR ve GNSS ile ilgili yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir.

1.4.1 Heyelanlar ve analitik hiyerarşi süreci ile ilgili yapılmış çalışmalar

Westen (1993), heyelan tehlike çalışmalarının amacının, kütle hareketlerinin meydana gelebilme olasılığını belirlemek veya bir bölgenin eşit duyarlılık zonlarına ayrılması olarak belirtmiştir. Bu konuyla ilgili literatürde birçok farklı yöntem önerilmiştir. Westen (1993), yaptığı çalışma ile heyelan tehlike değerlendirmesi için coğrafi verinin işlenmesi ve CBS sistemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 9 farklı yöntem tartışılmıştır. Bunlar, kütle hareketi dağılım analizi, kütle hareketi yoğunluk analizi, kütle hareketi aktivite analizi, jeomorfolojik tehlike analizi, nitel tehlike analizi, tek değişkenli analiz, çok değişkenli analiz, deterministik yamaç duraysızlık analizi, kütle hareketi frekans analizidir. Analizler 3 ölçeğe ayrılmıştır:

Bölgesel ölçek (<1:100,000), orta ölçek (1:50,000-1:25,000) ve büyük ölçek (>1:10,000). Bu kapsamda çalışma alanı ile ilgili veriler toplanmış ve yöntemler test edilmiştir. Kütle hareketinin birçok örneği tanımlanarak, çalışma alanında kütle hareketlerinin oluşumuyla ilgili jeolojik yapı, faylanmalar, sismik aktivite, iklimsel durum, ormanların tahribi, yol inşaatı ve kentleşme ile ilgili belirli bakış açıları verilmiştir. Sonuç olarak ise heyelan tehlike analizi için CBS'nin yararlı bir araç olduğunu belirtmiştir.

Lee vd., (2000), çalışmanın amacının Yongin ve Janghung, (Kore) olmak üzere iki çalışma alanı için CBS teknikleri kullanarak heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapmak olduğunu belirtmişlerdir. Yongin çalışma alanı için, arazi çalışmaları ve hava fotoğraflarının yorumlanması sonucu heyelan yerleri belirlenmiş olup daha sonra topografik, toprak, orman ve jeoloji haritaları toplanmıştır. Heyelan duyarlılık analizi için olasılık, lojistik regresyon ve sinir ağı yöntemlerini kullanmışlardır. Janghung, çalışma alanında ise Hint Uzaktan Algılama Uydusu (IRS, Indian Remote Sensing Satellite) uydu görüntülerinden heyelan konumları tespit edilmiş ve foliasyonların jeolojik yapısı incelenerek analiz edilmiştir. CBS ile mekansal veri tabanını inşa etmek için jeolojik yapı, heyelan yerleri ve topoğrafya verilerini kullanmışlardır. Analiz sonrası elde ettikleri verileri, heyelan konumları ile doğrulamışlardır. Doğrulama sonuçlarına göre oluşturulan duyarlılık haritası ile heyelan konumları arasında uyum olduğunu belirtmişlerdir.

Carrara vd., (2003), yaptıkları çalışmada pilot bölge olarak seçilen Kuzey İtalya Staffora havzasından, geçmiş veriler ile jeomorfolojik haritalamadan elde edilen heyelan verilerini karşılaştırmışlardır. Bunu yapmak için ise, heyelanın neden olduğu hasar sonucu, etkilenen tarihi alanlar (tarihsel model) ya da haritalanan heyelanlar (jeomorfolojik model) olmak üzere iki çok değişkenli istatistiksel model oluşturmuşlardır. Bu iki model haritayı niceliksel olarak karşılaştırarak, birimlerin duraylı ya da duraysız olduklarını yüzde olarak tahmin etme bakımından jeomorfolojik modelin daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir.

Görüm (2006), doktora tezi çalışmasında Melen Boğazı ve çevresinde yaptığı çalışmada heyelan duyarlılığı değerlendirmesinde jeomorfolojinin etkisini araştırmıştır. Jeomorfoloji verisini arazi çalışmaları, hava fotoğrafları ve CBS ile analiz ederek elde etmiştir. Bunun dışında eğim, bakı, yükseklik, plan, profil ve

diferansiyel yamaç eğriselliği, arazi kullanımı, akarsu aşındırma gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi ve jeoloji verilerini kullanmıştır. Lojistik regresyon yöntemini kullanarak, ilk olarak jeomorfolojin de dahil olduğu bütün verilerle analizi gerçekleştirmiştir. Daha sonra jeomorfoloji verisi olmadan analiz yapmıştır. Sonuç olarak ROC analiziyle eğri altındaki alanı hesaplayarak doğru sonuçların jeomorfolojinin dahil olduğu veri bütününden elde ettiğini belirtmiştir.

Kamp vd., (2008), yaptıkları çalışmada 8 Ekim 2005 yılında Keşmir (Kashmir) depreminin Pakistan ve Hindistan'ın kuzeyinde Himalayalar boyunca birkaç bin heyelanı tetiklediğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda, ASTER uydu görüntüleri ve CBS teknolojisini kullanarak 2252 heyelan içeren bir mekansal veri tabanı geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Heyelanları tetikleyen olay-kontrol parametrelerinin önemini belirlemek için çok ölçütlü değerlendirme yöntemini uygulamışlardır. Parametre olarak litoloji, fay, eğim, bakı, yükseklik, arazi örtüsü, yol ve akarsu verilerini kullanmışlardır. Özellikle kayaç yüksek oranda çatlak içerdiğinde (şist, sleyt, kırıntılı çökeller, kireçtaşı ve dolomit gibi) litolojinin heyelan üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunun dışında heyelanların faylara, akarsu ve yollara yakınlıkları da yenilmelerin başlamasında önemli bir etken olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışma ile birlikte depremin tetiklediği heyelanların belirli parametrelere bağlı olarak belirli bölgelerde yoğunlaştığını ve batı Himalaya'da ormanların tahribi ve yol inşaatının, deprem sırasında veya depremden kısa bir süre sonra heyelanların meydana gelmesinde önemli bir payı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yalçın (2008), yaptığı çalışmada jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları sebebiyle heyelanlara maruz kalan Ardeşen bölgesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinin son derece önemli olduğunu vurgulamıştır. Çalışma kapsamında AHP, istatistiksel indeks (Wi) ve ağırlık faktörü (Wf) yöntemlerini kullanmıştır ve bu üç yöntem kullanarak hazırlanan duyarlılık haritalarını karşılaştırmıştır. Bu kapsamda, heyelan envanteri, litoloji-bozunma, eğim, bakı, arazi örtüsü, akarsuya uzaklık, drenaj yoğunluğu ve yola uzaklık gibi verileri kullanmıştır. Çalışma alanında heyelanların % 98'i yüksek derecede ya da tamamen bozunmuş birimlerde meydana geldiğini belirterek, üç heyelan duyarlılık haritasının uygulanabilirliğini doğrulamak için 16 aktif heyelan zonunu içeren heyelan aktivite haritası ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre AHP yönteminin istatistiksel indeks ve ağırlık faktörü yöntemlerine

göre heyelan duyarlılığın asıl dağılımının daha gerçekçi bir resim ortaya çıkardığını belirtmiştir.

Öztürk (2009), doktora tezi çalışmasında sel ve taşkın duyarlılık analizi için CBS tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) arayüzünün geliştirilmesini amaçlamıştır. Modelde kullanılmak üzere yağış, yükseklik, eğim, bakı, alt havzaların büyüklüğü ve drenaj yoğunluğu olmak üzere altı tane ölçüt kullanmıştır. Marmara Havzası örneğinde uygulanmış olan arayüzde ölçüt ağırlıklarının belirlenmesinde sıralama ve ikili karşılaştırma; ölçüt katmanlarının normalleştirilmesinde en büyük değere göre doğrusal ölçek dönüşümü; Çok Ölçütlü Karar Analizi için basit ağırlıklı toplam, analitik hiyerarşi ve sıralı ağırlıklı ortalama yöntemlerini kullanmıştır. Analitik hiyerarşi ve basit ağırlıklı toplam yöntemine göre sel ve taşkın duyarlılığı analizi yapmıştır. Geliştirilen arayüzün sel ve taşkın duyarlılığının belirlenmesinde güvenilir bir çözüm sağladığını belirtmiştir.

Reis vd., (2009), aşırı yağış, jeolojik malzemenin ayrışma derecesi gibi sebepler nedeniyle heyelanların çok fazla etkili olduğu Rize’de heyelan zararlarının azaltılması amacıyla heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Çalışma kapsamında AHP ve Frekans Oranı yöntemini kullanmışlardır. Litoloji, eğim, bakı, arazi örtüsü, akarsulara yakınlık, drenaj yoğunluğu ve yola yakınlık gibi verileri kullanarak heyelana duyarlı alanları belirlemişlerdir.

Yılmaz (2009), Koyulhisar’da (Sivas) yaptığı çalışmada heyelan duyarlılık haritası için yapay sinir ağları modelini kullanmıştır. İlk olarak ArcGIS yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Daha sonra analiz için jeoloji, faylar, drenaj sistemi, topografik yükseklik, eğim açısı, bakı, topografik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi ve yollardan uzaklık parametreleri üretilmiştir. Son olarak yapay sinir ağları yönteminin zorlukları tartışılarak heyelan duyarlılık değerlendirmesi için bu yöntemin mühendisler ve plancılar için yararlı olabileceği vurgulanmıştır.

Demir (2011), doktora tezi kapsamında Niksar ve Suşehri arasındaki 1445 km²’lik alanın heyelan duyarlılık analizini yapmıştır. Çalışma kapsamında arazi incelemeleri ve MTA’dan alınan verileri kullanarak heyelan envanter haritasını hazırlamıştır.

Heyelan duyarlılık analizi için, litoloji, eğim, bakı, yükseklik, faylara, yollara ve akarsulara uzaklık, drenaj ve fay yoğunluğu verilerini kullanmıştır. Analiz için bulanık mantık, frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemlerini kullanmıştır. Oluşturduğu heyelan duyarlılık haritalarını çok az duyarlı, az duyarlı, orta derece duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 sınıfa ayırmıştır. Sonuç haritalarını değerlendirerek kullanılan 3 yöntemden frekans oranı yönteminin diğer yöntemlere göre gerçeğe daha yakın sonuç verdiğini belirtmiştir.

Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012), Türkiye'nin Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Karabük'te yaptıkları çalışmada, veri güdümlü bir yaklaşımla ve AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasını amaçlamışlardır. İlk olarak çalışma alanında 101 adet heyelan haritalamışlardır ve heyelan duyarlılık değerlendirmesi için girdi olarak eğim, bakı, plan eğriselliği, topografik yükseklik, bitki örtüsü indeksi, arazi kullanımı, drenaja uzaklık, yollara uzaklık, yapısal elemanlara uzaklık, sırtlara uzaklık, akarsu gücü indeksi, nemlilik indeksi olmak üzere 13 parametre kullanmışlardır. 7 heyelan duyarlılık haritası üretmek en iyi performansı, Eğri Altındaki Alan (EAA) değeri 0,797 olarak hesaplanan 9 parametrenin kombinasyonundan oluşan heyelan duyarlılık haritasının verdiğini belirtmişlerdir.

Çellek (2013), "Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi" isimli doktora tezinde, heyelan duyarlılık haritası üretmek amacıyla çalışma alanına ilişkin belirlediği parametreleri Uzaktan Algılama ve CBS ile değerlendirmiştir. Literatür ve arazi çalışmaları sonucu eğim, bakı, yükseklik, arazi sınıfı, jeoloji, yamaç eğriselliği, ana yola uzaklık, akarsuya yakınlık ve yapısal unsurlara uzaklık gibi verilerin çalışma alanında duyarlılık analizi için önemli olduğunu belirlemiştir. Sonuç haritasının oluşturulmasında AHP yöntemini kullanmıştır. Bu kapsamda verilerin puanlanması aşamasında ise her bir veriye ait alt sınıfları belirleyerek heyelan yoğunluğunu hesaplamış ve bu değerlerden yararlanarak puanlamaları yapmıştır ve heyelan tehdidi altında bulunan alanların dağılımını belirlemiştir.

Kayastha vd., (2013), AHP yöntemini kullanarak Batı Nepal Tinau havzasına ait heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Çalışma kapsamında heyelan duyarlılık değerlendirmesi için eğim yönü, eğim açısı, eğim şekli, bağıl rölyef, arazi kullanımı, jeoloji, fay hatlarına mesafe, antiklinal ve senklinallere uzaklık, akarsuya uzaklık ve

yıllık yağışı içeren faktörleri değerlendirmişlerdir. Bu faktörlere ait her bir ağırlık değeri bulunmuş ve sonuç olarak heyelan duyarlılık indeks haritasını oluşturmuşlardır. **Park vd., (2013)**, yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık değerlendirmesi için yükseklik, eğim, bakı, drenaja uzaklık, akarsu gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi, toprak haritası, arazi örtü haritası gibi parametreleri dikkate almışlardır. Bu değerlendirme kapsamında AHP, lojistik regresyon, yapay sinir ağları, frekans oranı yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılık indeks haritasını üretmişlerdir. Doğruluk değerlendirmesi için İşlem Karakteristik Eğrisi (ROC) kullanarak her bir yönteme ait sonuçları karşılaştırmışlardır.

Özşahin (2014), Antakya (Hatay) Şehri'nde kütle hareketleri duyarlılığının değerlendirmesi için CBS ve AHP yöntemini kullanmıştır. Kütle hareketlerini etkileyen faktörler olarak eğim, eğim şekli, topografik nemlilik indeksi, bakı ve akarsulara uzaklık faktörleri, litoloji ve fay hatlarına uzaklık, yerçekimleri ve toprak ile arazi kullanımı ve arazi örtüsü, yağış faktörü gibi verileri kullanmıştır. Çalışma alanının kütle hareketlerinin oluşma potansiyelinin düşük olduğunu belirterek CBS tabanlı AHP yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmanın tutarlı sonuçlar göstermesinden dolayı benzer alanlarda da kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Sivakami vd., (2014), çalışmanın amacının CBS ve uzaktan algılama tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirmesi olduğunu belirtmişlerdir. Frekans oranı yöntemi ile analiz için yükseklik, eğim, bakı, jeoloji, arazi kullanımı, drenaja uzaklık, yola uzaklık parametrelerini kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir.

Ahmed (2015), yaptığı çalışmada Chittagong Metropolitan alanında yaygın tehlikelerden biri olan heyelanların ana nedeninin kısa zaman aralığındaki şiddetli yağmurlar olduğunu belirtmiştir. Çok ölçütlü değerlendirme yöntemlerini kullanarak çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasını üretmiştir. Çalışmada AHP, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon, Sıralı Ağırlıklı Ortalama yöntemlerini kullanarak 7 farklı heyelan duyarlılık senaryosu oluşturmuştur. Heyelan envanteri verileri kullanılarak ROC analizi ile doğruluk değerlendirmesi yapmıştır.

Avcı (2015), Bingöl Çayı Havzası için yaptığı çalışmada, heyelan duyarlılık analizi için arazi gözlemleri ve heyelan envanter haritasının yanı sıra litoloji, fay hatlarına uzaklık, eğim, yağış, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, akarsu ağlarına

uzaklık, yükselti ve bakı gibi verileri kullanmıştır. Çalışma alanında yüksek eğimden dolayı akarsu yoğunluğunda artışın gerçekleştiğini ve havzada yağış miktarının fazla, bitki örtüsünün ise oldukça seyrek olduğunu belirtmiştir. Heyelanı etkileyen parametrelerin ağırlıkları belirlenerek sonuç haritası oluşturulmuştur. Sonuç olarak oluşturduğu duyarlılık haritasında heyelan duyarlılığın yüksek olarak sınıflandırılan büyük bir bölümünde mevcut yerleşmelerin yer aldığını vurgulamıştır.

Myronidis vd., (2016), heyelana eğilimli bir yer olan Kıbrıs'ta yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık modeli için CBS ortamında, AHP ve frekans oranı yöntemini birlikte kullanmışlardır. İlk olarak, 10 tetikleyici faktör ve onların değiştirilmiş Heyelan Bağlı Frekanslarını belirlemişlerdir. Heyelanların ortaya çıkmasında arazi örtüsünün en önemli faktörlerden biri olduğunu belirterek, AHP ile yapılan analiz sonucunda 0,00404 bulunan tutarlılık oranı değeri nedeniyle, analizde kullanılan faktörlerin ağırlık değerlerinin iyi değerlendirilmiş olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası, arazinin yaklaşık % 64,1'inin yüksek riskli bölgelerde genişlediğini göstermiştir. ROC eğrisiyle modelin doğruluğunun % 73,9 olduğunu ve modelin performansının, en küçük ağırlıklara sahip parametreler modelden çıkarıldığında arttığını belirtmişlerdir.

Mandal ve Mandal (2018), yaptıkları çalışmada Darjeeling Himalaya'nın en yıkıcı doğal afetlerinden birinin heyelanlar olduğunu belirterek, coğrafi araçlara dayalı Doğu Darjiling Himalaya'nın Lish nehir havzasının heyelan duyarlılık haritasını geliştirmek için AHP yöntemini uygulamışlardır. Heyelan envanterindeki veri setlerinden % 70'lik kısmını eğitim verisi olarak AHP modeli için uygulamışlardır ve kalan % 30'luk veri setini ise heyelan duyarlılık haritasını doğrulamak için kullanmışlardır. ERDAS IMAGINE, ASTER GDEM görüntüsü, ArcGIS ve PCI yazılımı, Landsat TM ve 8 OLI uydu görüntüsü, Google Earth görüntüsü, toprak haritası (NBSS ve LUP Bölge Merkezi), jeomorfoloji ve litoloji (NATMO ve GSI) heyelana neden olan 17 faktörü hazırlamak için kullanılmıştır ve işlenmiştir. Bu veriler, eğim, bakı, eğrisellik, yükseklik, rölyef, jeomorfoloji, jeoloji, çizgiselliklere uzaklık, çizgisellik yoğunluğu, toprak, arazi kullanımı & arazi örtüsü, NDVI, drenaj yoğunluğu, drenaja uzaklık, akarsu gücü indeksi, topografik nemlilik indeksi ve yağış verileridir. Faktör ağırlıkları ve tüm veri katmanlarının sınıf ağırlıklarını AHP kullanılarak üretmişlerdir ve daha sonra bu ağırlıkları heyelan duyarlılık haritasını oluşturmak için entegre etmişlerdir.

Sonucun doğrulanması için ise heyelan duyarlılığı ve mevcut heyelanların kümülatif yüzdesi yardımıyla % 89,72'lik doğruluk düzeyini gösteren başarı oranı eğrisine ulaşmışlardır.

Demir (2018), tarafından yapılan çalışmada Sivas ilinin Suşehri ilçesine ait heyelan duyarlılık haritasını oluşturmak amacıyla yükseklik, eğim, baki, litoloji, akarsuya, yola ve faya yakınlık parametreleri kullanılmıştır. Mevcut heyelanların % 65'i duyarlılık analizinde kullanılırken, % 35'i ise sonuç haritasını doğrulamak için kullanılmıştır. Bu kapsamda frekans oranı yöntemi kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritası 5 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Oluşturulan duyarlılık haritasını, % 35'lik kısmı doğrulama için seçilen mevcut heyelanlarla karşılaştırarak Eğri Altındaki Alan değerini 0,672 olarak hesaplamıştır.

1.4.2 PS-InSAR ve GNSS ile ilgili yapılmış çalışmalar

Malet vd., (2002), yapılan son çalışmalar ile birlikte, doğal afet alanlarındaki hareket noktalarının 3 boyutlu koordinatlarını kesin olarak belirlemek için Global Konumlandırma Sisteminin (GPS) uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. GPS ile heyelanların izlenmesi, geleneksel jeodezik yöntemlerin bir tamamlayıcısı olarak, genellikle tekrarlanan kampanyalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yaptıkları çalışma ile GPS ile heyelanların devamlı olarak izlenmesi için GPS ölçümlerinin deneysel doğruluğunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Her yıl onlarca santimetreden birkaç metreye ulaşan yüzey yer değiştirmeleri ile kanalize akışı içeren Süper-Sauze toprak akmasını (Güney Alpler, Fransa) çalışmışlardır. GPS verilerini Mayıs ve Ekim 1999'da olmak üzere iki kampanya ile elde etmişlerdir. Mayıs 1999'da 3 hafta boyunca üç boyutlu (3-D) kümülatif yer değiştirme en fazla 2,1 metreye ulaşmıştır. Yer değiştirmeler GPS ile tespit edilerek sonuçlar geleneksel jeodezik yöntemlerle (teodolit ve elektronik mesafe ölçer) veya tel ekstansometre cihazı ile elde edilenlerle karşılaştırmışlardır.

Bayrak (2003), çalışma alanı olarak seçtiği Doğu Karadeniz Bölgesi, Trabzon ili, Çağlayan ilçesi, Kutlugün köyünde, dinamik deformasyon modelini oluşturmak amacıyla, bölgede heyelanın en önemli nedeni olan yeraltı suyu seviye değişimleri dinamik değişken olarak dikkate almıştır. Altı periyotluk GPS gözlemlerinin yanı sıra jeolojik ve jeofizik gözlemler yapılarak yeraltı suyu seviyeleri ölçülmüştür. Statik

deformasyon modeli ve kinematik deformasyon modelleri ile deformasyon analizi yapılmıştır. Dinamik model sonuçlarına göre heyelan oluşumunda yeraltı suyunun değişim etkisinin çok önemli olduğunu belirtmiştir.

Farina vd., (2006), SLAM (Heyelan izleme Servisi) projesi kapsamında ESA (European Space Agency, Avrupa Uzay Ajansı) tarafından 2003 yılında başlatılan PS (Permenent Scatterer, Sabit Saçıcı) tekniği, çoklu görüntülü interferometrik yaklaşımı ile hava fotoğraflarının ve optik uydu görüntülerinin yorumlanmasıyla bağlantılı olarak, heyelan araştırmaları için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda PS analizi, bölgesel ölçekte heyelan envanter haritalamasına destek olarak ve yerel ölçekte iyi bilinen eğim hareketlerinin izlenmesi için uygulanmıştır. Çalışma kapsamında, PS ölçümlerinin heyelan envanterine entegrasyonu amacıyla çok sayıda kütle hareketinin olduğu Arno nehri havzası (İtalya) çalışma sahası olarak seçilmiştir. 350 SAR görüntüsü PS tekniği ile interferometrik olarak işlenmiştir ve 600.000 PS noktası tespit edilmiştir.

Strozzi vd., (2010), Çalışma kapsamında zemin yer değiştirmelerinin etkili bir şekilde araştırılması için optik sensör, hava kaynaklı (airborne) mikrodalga ve uydu görüntüsü gibi uzaktan algılama gözlemlerinin birleştirilme potansiyelini araştırmışlardır. İsviçre Alpler’inde buzulların geri çekilmesi nedeniyle paraglasiyal kökenli kaya kütlelerinin hareketinin gelişimi 1976 ve 2008 arasında, hava kaynaklı dijital fotogrametrisi, uydu SAR interferometrisi, diferansiyel GPS ile gözlemlenmiştir. Diferansiyel SAR interferogramlarının analizi ile heyelanın 1990’ların ortası süresince, eğim paralel yönünde 4 cm/yıl’dan, 2008 yazında ise 30 cm/yıl’dan daha fazla hızlandığını belirtmişlerdir. 2007 ve 2008 yazları arasında yapılan farklı GPS ölçümleri ile heyelan hareketinin mevsime bağlı değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Fotogrametrik analiz, 1976 ve 1995 arasında önemli bir hareket olmadığını (örn. <1 cm / yıl) ortaya koymuştur ve yüksek mekansal çözünürlük ile 1995 ve 2006 yılları arasında toplam yer değiştirmeye genel bir bakış sunmuştur. Saha çalışması ve hava fotoğrafı yorumlaması ile son buzullaşmanın en erken döneminde heyelanın aktif olduğunu ancak Holosen boyunca önemli anlamda uzun süreli aktivite olmamakla birlikte 1990’lardan bu yana katlanarak artan yeniden harekete geçme durumu olduğunu belirterek, kullanılan uzaktan algılama tekniklerinin heyelan tehlike analizi için birbirini iyi tamamladığı sonucuna varmışlardır.

Yin vd., (2010), 2006 yılında Kanada ve Çin Jeolojik Araştırma işbirliği projesi ile, Jiayu heyelanının gözlenmesinde GPS ve InSAR gözlemlerini entegre ederek batı Sichuan'daki derin vadi boyunca heyelanın izlenmesi sürecini başlatmışlardır. Yatay hareket sağlayan GPS ile düşey hareket sağlayan InSAR teknikleri birbirini tamamlayan ölçümler sağlamıştır. Ayrıca, InSAR görüntülerinin kompleks sarp dağ bölgelerindeki yeni heyelanların farkında olmak için etkili bir araç olduğunu belirtmişlerdir. GPS gözlemleri, sürekli izleme verileri sağlarken InSAR verileri ise aylık ölçümler sağlar. Çalışmalar sonucunda daha sık bir InSAR gözlemi ve daha yoğun bir GPS ağına daha doğru sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir.

Radicioni vd., (2012), yaptıkları çalışmada 1950'den sonra inşa edilen ve eski kent merkezinin dışında bulunan Assisi kentsel alanının (orta İtalya) bir kısmı, zaman içinde birikim etkisiyle binalara önemli zararlar veren, yavaş hareket oranıyla nitelenen bir heyelanı çalışmışlardır. Toprak yüzeyinin hareketleri hem yatay hem de düşey bir bileşene sahiptir. Deformasyonu izleme amacıyla bir GNSS ağı, 1995 yılından itibaren, temel ağı vasıtasıyla bağlanan ve heyelan gövdesinin dışında yer alan duraylı jeolojik formasyonlara sahip alan üzerinde kurulmuştur. 1999'da hareket alanının düşey bileşeninin tanımını geliştirmek için bir nivelman ağı eklenmiştir. Hem GNSS hem de nivelman ağı ölçümleri yaklaşık yıllık bir ritimle gerçekleştirilmiştir. Koordinatlar ve yükseklikleri kapsayan gözlem periyodu (1995-2010) ağı noktaları için mevcuttur. Ayrıca Assisi heyelan alanı bir de uydu SAR interferometresi InSAR aracılığıyla araştırılmıştır. Bu kapsamda sunulan veriler 2003'ten 2010'a kadar olan sürede ENVISAT ASAR verilerinin analizinden elde edilmiştir. Böylece GNSS ve nivelman ölçümleri ile 7 yıllık bir örtüşme olduğundan dolayı karşılaştırmayı mümkün kılmıştır. Mümkün olduğunca yerel topolojik etkiler dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır ve çoğu durumda farklı tekniklerin sonuçları arasında iyi bir uyum bulunduğunu belirterek, hareket alanının ve heyelan sınırının daha derin bir analizi ise tüm veri kümesinden elde edilmiştir.

Akbarimehr vd., (2013), İran'ın kuzeydoğusunda, kuzey Horasan bölgesindeki Sarcheshmeh eski heyelanının şev stabilitesini değerlendirmek için InSAR ve GPS gözlemlerini kullanmışlardır. InSAR gözlemleri 2004–2006 yıllarını kapsayan Envisat SAR görüntüleri zaman serisi analizi ile elde edilmiş olup, 2010-2012 yılları boyunca kampanya ölçümleri ile, yinelenen GPS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada

SAR uydu görüntüleri ve GPS gözlemleri olmak üzere kullanılan veri kümesini iki kategoriye ayırmışlardır. Sarcheshmeh yüzey deformasyonunun eski mekanizmasını değerlendirmek ve analiz etmek için SAR interferometrisini (InSAR tekniği) güncel deformasyon oranını araştırmak için ise GPS periyodik ölçümlerini kullanmışlardır.

Bovenga vd., (2013), yaptıkları çalışmada heyelanların izlenmesinde SAR interferometrisinin uygulanabilirliğini analiz etmişlerdir. Bu analiz, yerinde GNSS ölçümleri ve farklı uydu SAR verisi olmak üzere farklı interferometrik yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, tarihi Assisi şehrinin (İtalya) kentsel alanının önemli bir bölümünü etkileyen yavaş hareket eden heyelana odaklanmışlardır. 2003 ve 2010 yılları arasında elde edilen C-band ENVISAT (ENVISAT ASAR) veri seti, elde edilen yer değiştirme haritalarının çapraz karşılaştırmasını sağlamak için iki farklı interferometrik teknik kullanılarak işlenmiştir ve sonuçlar arasında iyi bir uyum saptamışlardır. Bir dizi GNSS ölçümü ile SAR verisi sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ortaya çıkan yer değiştirme alanları C-bandı ve GNSS ölçümleri ile iyi bir uyum sergilediğini belirtmişlerdir.

Kiseleva vd., (2014), Kafkasya'nın Karadeniz kıyısında bulunan Bolshoy Sochi'de heyelan aktivitesini StaMPS PS-InSAR yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada Ocak 2007 - Eylül 2012'yi kapsayan zaman aralığında farklı dalga boylarında ALOS, Envisat ve Terra-SAR-X uydularından elde edilen artan ve azalan izlerden üç radar görüntü setini birleştirmişlerdir. Tüm veri setlerinden elde edilen yüzey yer değiştirmelerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Uydu verilerine dayalı konumlanan yüksek yüzey yer değiştirme oranı bulunan alanların saha gözlemlerine göre yüksek heyelan aktivitesi zonlarıyla iyi uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Baranovka ve Mamaika köylerinde 2 heyelan için zaman serilerini oluşturmuşlardır. Zaman serisi analizi ile heyelanların faaliyet dönemlerini ve bağlı duraylılığını belirlemenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Hastaoglu vd., (2017), Koyulhisar'da yaptıkları çalışmada PSI ve GNSS yöntemleri ile heyelan alanlarındaki deformasyonların belirlenmesini amaçlamışlardır. Koyulhisar heyelan alanında, bölge boyunca 53 GNSS noktası kurulmuştur. Bu noktadaki hız değerleri üç boyutludur. Ek olarak, TerraSAR-X radar uydularına ait Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görüntüleri StaMPS yazılımı ile değerlendirilmiştir. Heyelan bölgesinin kayma yüzeyleri, görüş açısı doğrultusunda, tek boyutlu hız

değerlerine ek olarak PSI 'den hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerleri, aynı formata dönüştürülen GNSS verisi ile karşılaştırmışlardır. Bu kapsamda GNSS, nokta verisine dayalı yerel deformasyonların izlenmesi için daha etkili bulunurken, PSI ise alansal hareketlerin izlenmesinde daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma alanında bölgesel hareketlerden bağımsız küçük yerel hareketlerin varlığından dolayı GNSS ve PSI yönteminin birlikte kullanımının daha etkili olacağını vurgulamışlardır.

Mirzaee vd., (2017), yaptıkları çalışmada kütle hareketinin etkili olduğu Kuzey İran'ın Mazandaran şehri Shabkola köyünü çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Bu bölgede toprağın stabil olmamasının ana nedenleri ormanların tahrip olması ve arazi kullanımındaki değişimler olduğunu, bunun yanı sıra dik yamaç, yüksek yağış oranı ve doğal erozyonun böyle bir duruma yol açtığını vurgulamışlardır. Bu bölgede yaşayan insanlar için yaklaşık 90 hektarlık kütle hareketi alanı büyük bir tehlikedir. Çalışmada kapsamında Shabkola'daki şev duyarlılığını değerlendirmek için InSAR zaman serisi analizi ve GPS ölçümleri dahil olmak üzere iki farklı jeodezik teknik kullanmışlardır. SAR veri seti Temmuz 2007'den Şubat 2011'e kadar 19 adet ALOS / PALSAR görüntülerini içerirken, GPS gözlemlerinin ise Eylül 2011'den Mayıs 2014'e kadar 5 kampanyada toplandığını belirtmişlerdir. 2011-2014 zaman aralığı için GPS gözlemleri ile yamaç doğrultusunda yaklaşık 11,7 m kadar yer değiştirme tespit edilmiştir. Eğim geometrisinin çoğu kuzey-güney doğrultusunda olduğundan dolayı yer değiştirme tespiti için InSAR'ın duyarlılığı düşüktür. Bununla birlikte, ALOS PALSAR veri analizi ile birlikte 2007-2011 zaman aralığında yaklaşık 2 cm/yıl olan uydu bakış doğrultusu hızlarını gösteren, ana Shabkola heyelanının kuzey kesiminde yoğun bitki örtüsüyle kaplı, daha önce bilinmeyen bir heyelan olduğu ortaya koyulmuştur.

Nishiguchi vd., (2017), Japonya'da bulunan Kuchisakamoto bölgesi ve Koshio heyelanı, PALSAR-2 verilerini kullanarak InSAR analizinin doğruluğunu tespit etmek için çalışma alanı olarak seçilmiştir. Koshio heyelanı, uzun süreli yer değiştirme kayıtlarına sahiptir. Son yıllarda, bir heyelanın kısmi blok hareketi gibi küçük ölçekli deformasyonunun tespit edilmesini sağlayan yüksek çözünürlüklü SAR sensörlerinin geliştirildiğini belirtmişlerdir. 24 Mart 2014'te L-band SAR (PALSAR-2), ALOS-2 üzerine yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında PALSAR-2 verilerini kullanarak InSAR analizinin doğruluğunu tespit etmek için InSAR analizi ve GNSS gözlemleri

aracılığıyla heyelanın yer değiştirme ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. InSAR analiziyle elde edilen yer değiştirmeler ve GNSS alan ölçümleri arasındaki ortalama fark eğim mesafesi yönünde sadece 15,1 mm bulunarak InSAR analizinin yüksek doğruluğunu göstermektedir. InSAR analizi ile tespit edilen alanların birçoğunun, heyelan aktivitesine bağlı yüzey değişikliklerinin yerleri ile uyuşmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Dong vd., (2018), SAR interferometri (InSAR) teknikleri kullanılarak geniş alanlarda potansiyel şev duraysızlıklarının tespiti ile heyelan zararlarının önlenmesi ve azaltılmasına yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir. Bununla beraber, koherent radar hedeflerinin düşük mekansal yoğunluğu, konvansiyonel zaman serileri InSAR yöntemleri ile saptanan kompleks topoğrafya ve bitki örtüsüne sahip dağlık alanlardaki deformasyon ölçümlerinde önemli belirsizlikler ortaya çıkarır. Yaptıkları bu çalışmada kırsal ortamlardaki ölçüm noktalarının sayısını arttırmak için Dağılmış Yansıtıcı (DS) ve Sabit Saçıcının (PS) ortak işlenmesi problemini çözmek için Koherent Yansıtıcı InSAR (CSI) olarak adlandırılan yeni zaman serisi InSAR metodunu önermişlerdir. Havza ölçeğinde potansiyel olarak duraysız şevleri, kayma sınırlarını belirlemek ve büyük heyelanların deformasyon ölçümünü saptamak için bu yaklaşımı uygulamışlardır. Bu kapsamda Güneybatı Çin'de Dadu Nehri Havzası'nın üst kısmındaki Danba şehrini kapsayan arşivlenmiş ALOS PALSAR ve ENVISAT ASAR veri yığınlarını işlemişlerdir. PALSAR ile ölçülen deformasyon oranı haritasının 17 şüpheli heyelan ve onların kayma sınırları ortaya çıkarılmıştır. Buna karşılık, bu 17 heyelandan sadece altı tanesi ASAR sonuçlarından tespit edilmiştir çünkü diğer 11 heyelan, koherent noktalarının daha düşük yoğunluğu nedeniyle saptanamamıştır. Bu sonuçların iki farklı yaklaşımla dolaylı olarak doğrulandığını belirtmişlerdir. Son dönemde edinilen L-bandı ALOS-2 PALSAR-2 veri çiftleri için iki farklı interferogram bu heyelanların hala aktif deformasyonda olup olmadığını kontrol etmek için görsel olarak incelenmiştir ve daha sonra InSAR sonuçlarının güvenilirliğini, alan araştırması ve GPS ölçümleriyle karşılaştırma yoluyla değerlendirmişlerdir.

2. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Heyelan duyarlılık analizlerinde literatür incelendiğinde çeşitli nicel ve nitel yöntemler kullanıldığı gözlenmektedir. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yöntemler, heyelan envanteri temelli olasılıksal, deterministik, sezgisel ve istatistiksel olmak üzere dört sınıfa ayrılabilir (Carrara vd., 1995; Guzzetti vd., 1999; Park vd., 2013). Deterministik yaklaşım, şev yenilmelerini kontrol eden fiziksel mekanizmaların matematiksel modellenmesine dayanır (Kramer, 1996; Akgün, 2012). İstatistiksel analizde ise, veri katmanlarındaki kütle hareketi tehlikesinin analiz edilmesinde istatistiksel analizler kullanılarak olasılık sonuçları elde edilen yöntemler olarak adlandırılır (Çellek, 2013). Sezgisel (heuristic) yöntem, uzman görüşüne dayalı bir yöntemdir ve geniş alanlar için niteliksel heyelan duyarlılık haritaları üretmek amacıyla kullanılan yararlı bir yöntem olarak değerlendirilir. Heyelan tehlikesi olan alanları “çok düşük ya da “çok yüksek” gibi terimlerle kategorize etmek için uzman görüşünü kullanırlar. Son zamanlarda, yeni karar destek araçlarından olan AHP ve ağırlıklı doğrusal kombinasyon modelleri CBS tabanlı sezgisel yaklaşımlar olarak geliştirilmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Akgün, 2012).

Uzman görüşüne dayalı yöntemlerden biri olan AHP, karmaşık problemlerin analizinde gösterdiği basitlik, esneklik ve rahat yorumlanması aynı zamanda nitel ve nicel ölçümlerin birlikte değerlendirilebilmesi özelliğinden dolayı yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Tüdeş, 2011).

2.1 Çok Ölçütlü Karar Analizi

Karar problemlerinde birden fazla nitelik ve nicelik içeren ölçüt ve amaç söz konusu olduğunda bu tip karar verme durumları “Çok Ölçütlü Karar Verme” problemleri adı altında incelenmektedir. Çok Ölçütlü Karar Verme, birden fazla karar ölçütünün analizi ile alternatifler arasında seçim yapılmasını, alternatiflerin gruplandırılmasını veya sıralanmasını sağlayan yöntemleri içermektedir (Timor, 2011).

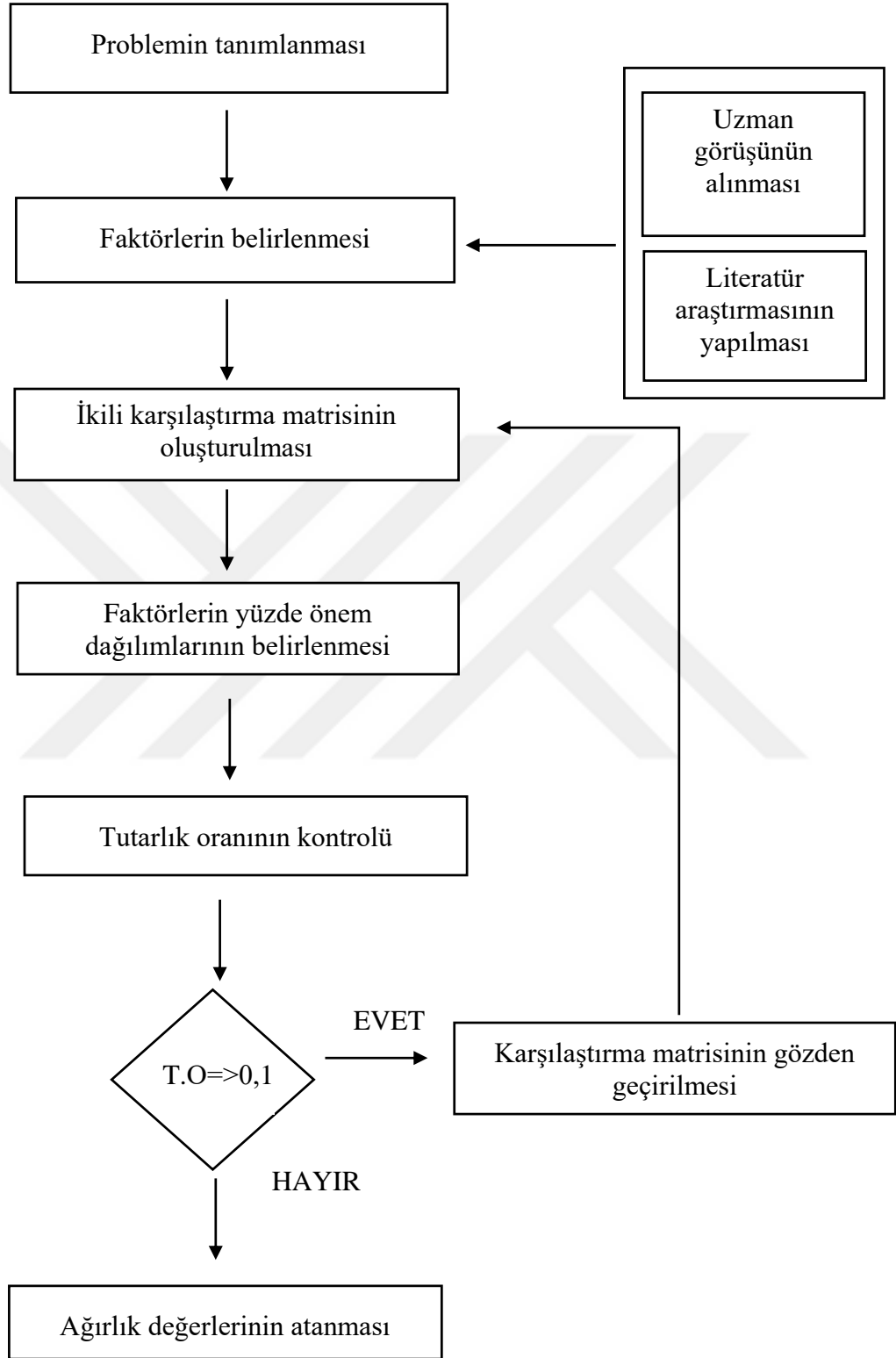
Günümüzde Çok Ölçütlü Karar Verme problemlerinin çözümünde araştırmacılar tarafından kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan, Analitik Hiyerarşi Prosesi, ANP (Analytic Network Process, Analitik Ağ Süreci), ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality, Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim),

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, İdeal Çözümüne Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği), PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation, Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi) gibi yöntemler seçenekler arasında en iyi alternatifin belirlenmesi amacıyla seçim problemlerinde ve belirli ölçüt ya da tercihlere göre sınıflama yani benzer özellik gösteren alternatiflerin tekrar bir araya getirilmesine olanak sağlayan sınıflama problemlerinde kullanılabilir yöntemlerdir (Yıldırım ve Önder, 2014).

2.1.1 Analitik hiyerarşi yöntemi

Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden biri olan AHP 1970'li yılların ortasında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ölçme ve karar verme için kullanılan bir matematiksel teoridir (Saaty ve Niemira, 2006). AHP, birçok ölçütü barındıran problemlerde hem niceliksel, hem de niteliksel faktörlerle uğraşmada esneklik gösterir (Banai-Kashani, 1989). Karmaşık problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılan bir yöntem olan AHP faktörlerin ikili karşılaştırılmasına dayanan bir yöntemdir. Analitik hiyerarşi sürecine ait iş akışı Şekil 2.1'de verilmiştir.

AHP'de ilk adım problemi tanımlamak ve bu probleme ilişkin ölçütlerin belirlenmesidir. AHP'de amaca ulaşmak için her bir ölçütün göreceli önemi hakkında hükümlerde bulunmak gerekmektedir. AHP, iki ayrı ölçüte yönelik göreceli tercihleri ölçeklendirmek ve ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmak için Saaty tarafından geliştirilen 1-9 ölçeğini kullanır (Saaty, 2008). Bu ölçeğe göre kıyaslanan iki ölçüt eşit olarak tercih ediliyorsa 1 değeri, iki ölçütten biri diğerine göre daha önemliyse 3 değeri, çok önemli ise 5 değeri, çok güçlü bir öneme sahipse 7 değeri, mutlak bir üstünlüğe sahipse 9 değeri kullanılır. Karar sürecinde ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması uzman görüşünün dahil olduğu aşamadır.



Şekil 2.1 Analitik hiyerarşi süreci iş akışı (Taş vd., 2017).

Karar verici tarafından verilen ikili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını tespit etmek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır. Hesaplanan tutarlılık oranının 0,1 değerinden küçük olması uzman görüşüne dayalı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir.

Tutarlılık oranının 0,1 değerinden büyük olduğu durumlarda ise karar vericinin karşılaştırmalardaki tutarsızlığını gösterir (Hafeez vd., 2002). Bu durumda karşılaştırma matrisinin yeniden oluşturulması gerekmektedir.

AHP yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Yaralıoğlu, 2010):

- AHP yönteminde ilk aşama problemin tanımlanması ve probleme ait ölçütlerin belirlenmesidir.
- Ölçütler arası nxn boyutlu olan karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırma matrisinde ikili karşılaştırmaların tutarlı olması açısından ölçüt sayısının belirlenmesi ve bu ölçütlerin ayrıntılı olarak tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Karşılaştırma matrisi aşağıda verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = [a_{ij}] \quad nxn \quad i, j= 1,2,\dots,n \quad [2.1]$$

n: probleme ait ölçüt sayısı, i, j: probleme ait ölçütler a_{ij} : i ölçütünün j ölçütüne göre önem değerini ifade etmektedir. İkili karşılaştırma matrisinde ölçütlerin karşılaştırılabilmesi için Çizelge 2.1'de verilen Saaty (1977) tarafından geliştirilmiş olan değerlendirme ölçeği kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1 Analitik hiyerarşi süreci değerlendirme ölçeği

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki ölçütün eşit öneme sahip olması
3	1. ölçütün 2. ölçütten daha önemli olması
5	1. ölçütün 2. ölçütten çok önemli olması
7	1. ölçütün 2. ölçüte nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması
9	1. ölçütün 2. ölçüte nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması
2,4,6,8	İki ölçüt arasındaki tercihte yukarıda açıklamaları bulunan önem değerlerinin arasında kalan ara değerlerdir

Uzman görüşünün dahil olduğu ikili karşılaştırmalarda eğer birinci ölçüt ikinci ölçüte göre çok güçlü bir öneme sahip olarak görünüyorsa $i = 1, j = 2$ durumunda Çizelge 2.1'e göre 7 değerini alacaktır. Tam tersi durumda yani $i = 2, j = 1$ durumunda ise $1/7$ değerini alacaktır. Karşılaştırma matrisinde köşegende bulunan bütün bileşenler ölçütlerin kendisiyle karşılaştırma durumunda olduğundan dolayı ($i = j$) 1 değerini alır. Kare matriste köşegenlerin üzerindeki değerler için karşılaştırma yapılırken altında kalan bölümler için [2.2] formülünü kullanmak yeterlidir.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad [2.2]$$

Ölçütlere ait yüzde önem dağılımlarını belirlemek için ise $n \times n$ matrisine ait sütun vektörleri kullanılarak [2.3]'te verilen n adet ve n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad [2.3]$$

Yukarıda verilen örnekte B sütun vektörünü oluşturmak için [2.4]'de verilen formül kullanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad [2.4]$$

[2.4] formülü bütün ölçütler için uygulandığında ölçüt sayısı kadar B sütun faktörü elde edilirken, n adet B sütun vektörü ise [2.5]'te verildiği gibi C matrisini oluşturacaktır.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad [2.5]$$

Faktörlerin yüzde önem dağılımını belirlemek için [2.6]'da verilen formül kullanılarak C matrisi satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve W sütun vektörü elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad [2.6]$$

Aşağıda verilen W sütun vektörü [2.7], hesaplandıktan sonra ölçütler karşılaştırılırken tutarlı olup olmadığını ölçmek için Tutarlılık Oranını hesaplamak gerekmektedir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad [2.7]$$

Tutarlılık Oranının hesaplanmasının temeli, ölçüt sayısı ve Temel Değer (λ) katsayısının karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Temel değer katsayısının hesaplanması için A karşılaştırma matrisi ile W matrisi çarpılarak D sütun vektörü [2.8] hesaplanır.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad [2.8]$$

D sütun vektörü hesaplandıktan sonra [2.9] eşitliği kullanılarak D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı değerleri bölünerek, her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) elde edilir. [2.10] formülü ile de karşılaştırmaya ait temel değer (λ) elde edilir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad [2.9]$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad [2.10]$$

λ değerinin hesaplanmasının ardından Tutarlık Göstergesi (CI) Eşitlik [2.11] formülünden yararlanılarak hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad [2.11]$$

Bu aşamadan sonra Tutarlılık Oranı (CR) hesaplamak için eşitlik [2.12]'e göre CI değeri, standart düzeltme değeri olarak adlandırılan Random gösterge (RI) değerine bölünerek hesaplanır.

Çizelge 2.2 Random gösterge değerleri (Macharis vd., 2004)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [2.12]$$

Çizelge 2.2’de ölçüt sayısına karşılık gelen Random Gösterge değerleri belirlenerek Eşitlik [2.12]’e göre tutarlılık oranı değeri hesaplanır. Eğer bu değer 0,1’den küçük bir değerse uzman görüşüne dayalı oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterirken eğer Tutarlılık Oranı 0,1’den büyük bir değer ise ikili karşılaştırma matrisinde tutarsızlık olduğunu gösterir ve bu karşılaştırma matrisinin tekrar oluşturulması gerekir.

2.2 Frekans Oranı

Heyelanların oluşumunu tahmin etmek amacıyla, geçmişte heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerin, gelecekteki heyelanların da aynı faktörlerden dolayı oluşacağı varsayımı kabul görmektedir (Chung ve Fabbri, 1999). Bundan dolayı geçmiş heyelan konumları ile heyelana neden olan her bir faktör arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için frekans oranı yöntemi kullanılmaktadır (Lee ve Min, 2001; Lee vd., 2004; Erener vd., 2010; Arca ve Kutoğlu, 2017).

Frekans oranı yöntemi, geçmiş heyelan konumları ile heyelana neden olduğu düşünülen her bir faktörün korelasyonunu saptamak için kullanılmakta olup, bir durumun gerçekleşme olasılığının gerçekleşmeme olasılığına oranı olarak tanımlanmaktadır ve frekans oranı hesaplamaları sonuç elde edilen değerler 1’den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1’den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır (Erener vd., 2010; Arca ve Kutoğlu, 2017).

Çalışma alanına ait heyelanlar referans alınarak heyelan duyarlılık analizi için değerlendirilen her faktörün alt sınıflarındaki heyelanlı hücre sayıları belirlenerek heyelanlar ve üretilen veriler arasındaki ilişki incelenmiştir. Frekans oranı hesabı için [2.13] formülü kullanılmıştır.

$$FR = A/B \quad [2.13]$$

A, heyelanı etkileyen her bir faktöre ait alt sınıflarının heyelan varlığı yüzdesi, B heyelanı etkileyen faktörlerin her bir kategorisinin yüzdesidir (Demir, 2016).

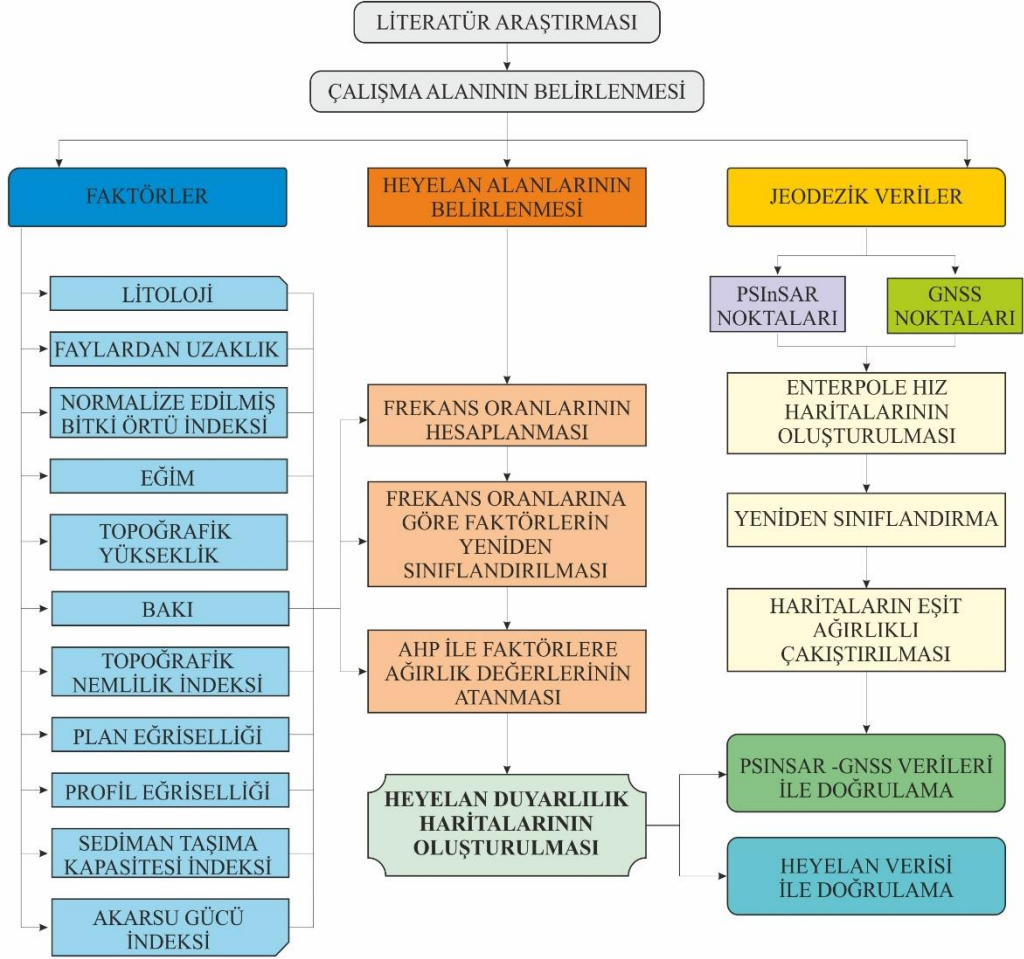
Çalışma alanı için heyelanı etkileyen her bir parametrenin frekans oranları hesaplanmıştır (Örn. Çizelge 3.1). Rastgele seçilen heyelan piksellerinin yarısı frekans oranı hesabı için diğer yarısı ise sonuç haritalarının doğrulanması için kullanılmıştır.



3. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİ KÜMESİ VE SONUÇ HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

Çalışmanın bu bölümünde kullanılan verilere ilişkin bilgiler verilmiştir. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesine yönelik katman haritalarının üretilmesinde Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi adına lisanslı ArcGIS 10.1 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanı içinde heyelanların oluşmasında etkili olduğu düşünülen eğim, litoloji, bakı, yükseklik, faylardan uzaklık, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, plan eğriselliği, profil eğriselliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi, akarsu gücü indeksi gibi faktörler kullanılmıştır. Heyelan analizlerinde alana, ölçeğe ve işlem yapılacak bilgisayar kapasitesine göre hücre aralıkları 5 m ile 100 m arasında kullanılabilir. 1/25.000 ölçekli değerlendirmelerde ise genel olarak 10 m ile 30 m arasında değişmektedir (Delikanlı, 2010).

Tez kapsamında ise hücre aralığı 10 x 10 m olarak alınmıştır. Çalışma alanı için kullanılan katman haritaları ve arazi çalışmaları ile üretilen heyelan envanter haritası birlikte değerlendirilerek katmanlara ait alt sınıfların heyelanlarla olan ilişkisi ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda CBS tabanlı AHP yöntemiyle katmanlar ve alt sınıflarının ağırlıkları belirlenerek heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen verileri çakıştırabilmek ve verileri standart hale getirip ortak ölçekte toplamak için ArcGIS Spatial Analyst modülünün Reclassify (yeniden sınıflandırma) aracı kullanılmıştır. Alt sınıf puanlaması yapılırken frekans oranı değerleri dikkate alınmıştır. Akgün'e (2018) göre heyelan meydana gelmesinin, heyelan meydana gelmemesine oranının olasılığını ifade eden benzerlik oranı 1'den büyükse heyelan ve heyelana sebep olan faktörler arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu belirtmiştir. Benzerlik oranının yüksek olduğu alanlar heyelan duyarlılığının yüksek olduğunu ifade ettiğinden dolayı, benzerlik oranı değerlerine göre 1 ile 5 değeri arasında olmak üzere 1 değerinin çok düşük duyarlılığı 5 değerinin ise çok yüksek duyarlılığı temsil edecek şekilde yeniden sınıflandırmıştır.



Şekil 3.1 Çalışmaya ait iş akışı.

Tez çalışması kapsamında ise verilere ait alt sınıflara (Örn. Çizelge 3.1) 1 ile 5 arasında değişen çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlılık sınıflarını (1= çok düşük duyarlılık, 5= çok yüksek duyarlılık) kapsayan değerler atanarak verileri standardize etmek için yeniden sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmaya ait iş akışı Şekil 3.1’de verilmiştir.

3.1 Heyelan Haritasının Hazırlanması

Cruden ve Varnes’e göre (1996) heyelan, yerçekimi etkisi ile kayaç, moloz ve toprak malzemelerin yamaç aşağı hareketi olarak tanımlanmaktadır. Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflandırılmasında (Çizelge 3.1) hareket ve malzeme türünün önemli olduğu belirtilerek literatürde çoğunlukla kullanılan sınıflama sistemi durumundadır (AFAD, 2015).

Çizelge 3.1 Heyelan sınıflaması (Varnes, 1978)

HAREKETİN TİPİ		MALZEME TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri taneli	İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz	Zemin Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz	Zemin Devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Yanal			
Yayıma		Kaya Yayılması	Moloz	Zemin Yayılması
Akma		Kaya akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Kribi)
Karışık		En az iki veya daha fazla sayıda heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar		

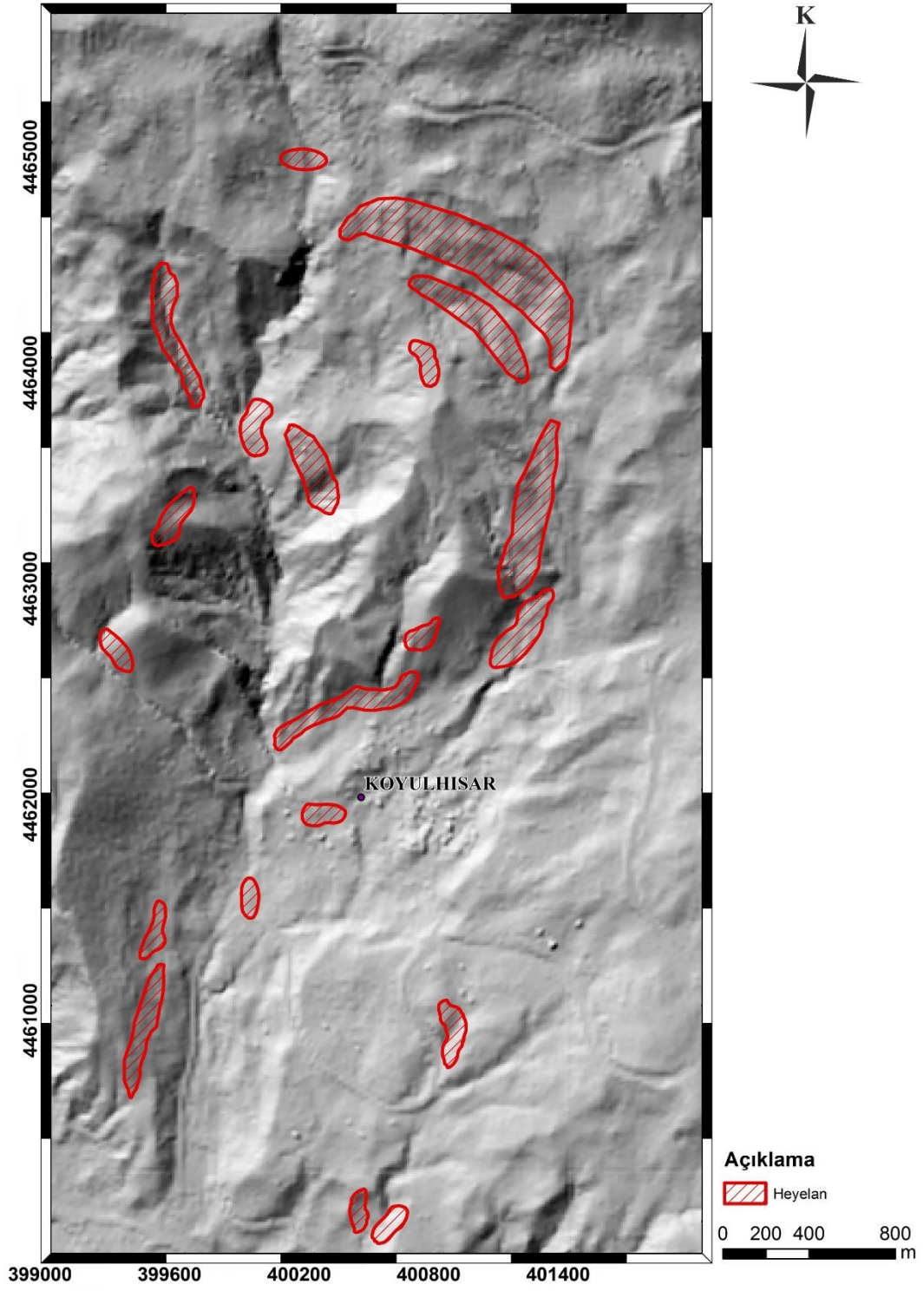
Bölgesel ölçekli heyelan envanter haritaları ise, heyelan duyarlılık, olası tehlike ve risk analizlerinde önemli bir girdi parametresini oluşturmakta olup, heyelan envanter haritaları heyelan tipi, coğrafi konumu ve biliniyorsa oluşum zamanlarının yer aldığı haritalardır (Çan vd., 2013)

Heyelan envanter haritalarının oluşturulması özellikle uygulama açısından değerlendirildiğinde karar vericiler, planlamacılar ve yerel yönetimler için önemli

bilgiler içermekte olup heyelan envanter haritalarının oluşturulma amaçları şu şekilde özetlenmiştir (Brabb, 1991; AFAD, 2015):

- Lokal, bölgesel ve ülke ölçeğinde oluşan heyelanların yerlerini belirlemek ve veri tabanını oluşturmak.
- Meydana gelen kütle hareketlerinin alan üzerinde etkilerini ve değişimini analiz etmek ve ortaya koymak.
- Heyelanların mekansal dağılımını, türlerini ve aktivitesini göstermek.
- Heyelan tehlike ve risk analizlerine temel teşkil edecek bilgileri içerecek şekilde bir altlık oluşturmak.

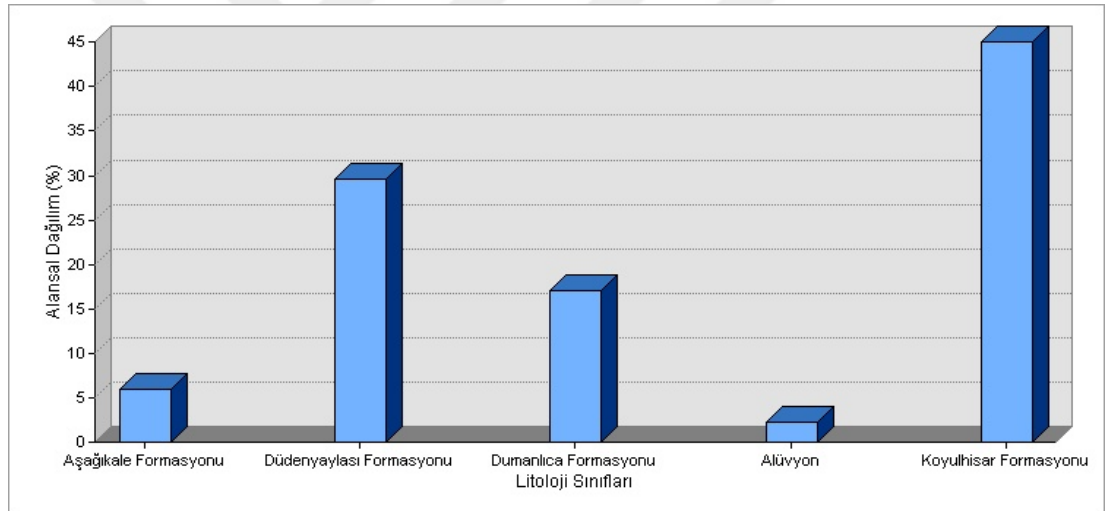
Çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi aynı zamanda doğrulanması kısmında gerekli olan heyelan konumlarının saptanması için öncelikle literatür incelenmiştir. Yılmaz (2009) tarafından Koyulhisar’da yapılan heyelan duyarlılık çalışması dikkate alınarak ve saha çalışmaları sonucu heyelan bölgeleri belirlenmiştir. ArcGIS 10.1 yazılımı kullanılarak heyelanların sahadaki dağılımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Çalışma alanına ait heyelan dağılımları.

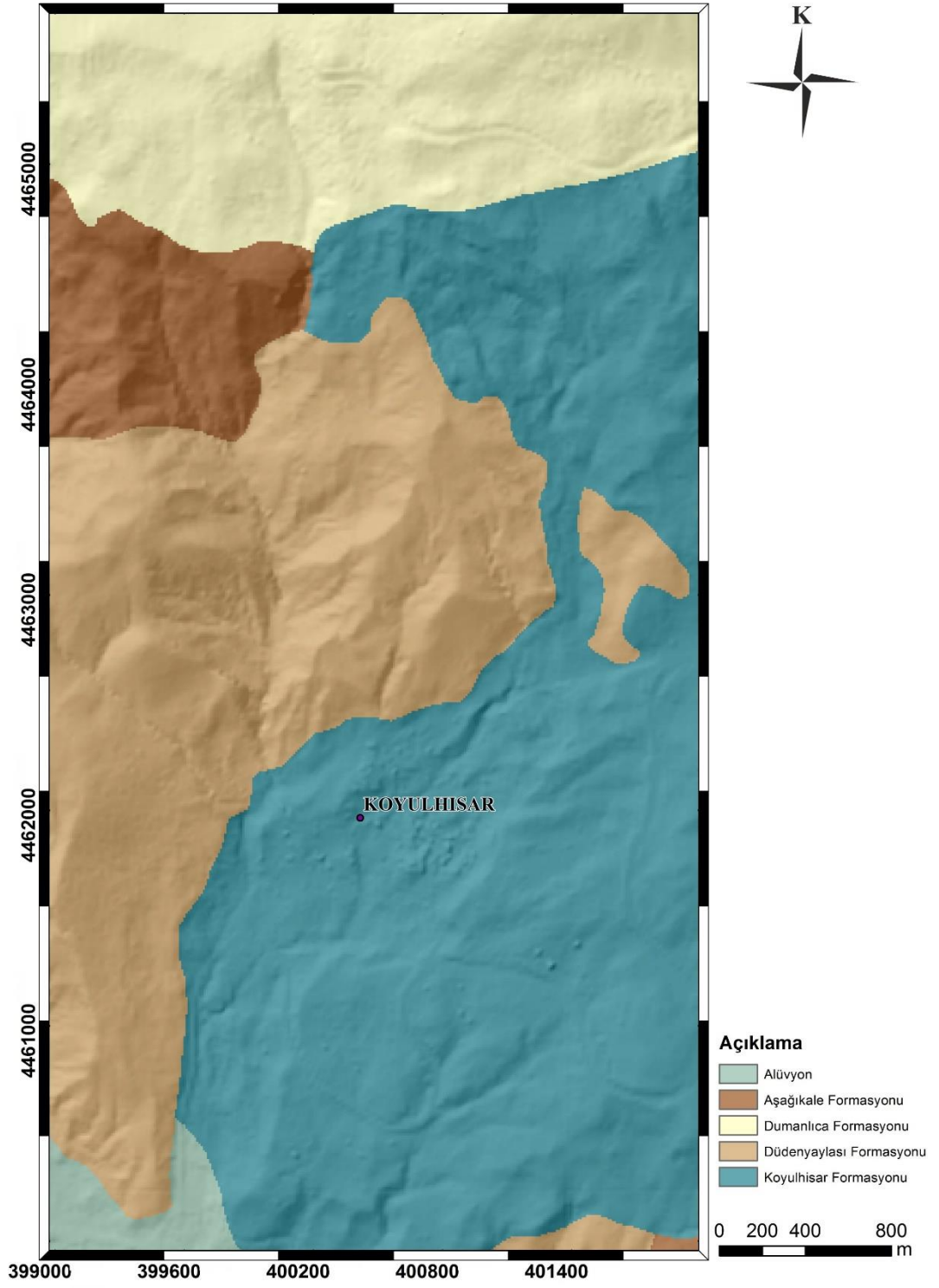
3.2 Jeoloji

Heyelanların meydana gelmesinde hazırlayıcı faktörlerden olan jeolojik yapı ve yamacın malzeme özellikleri duraysızlık modellerini doğrudan kontrol etmektedir. Litolojik yapı çalışma alanının heyelana olan eğilimi hakkında önemli veriler sunan etkin bir parametredir. Litolojik yapının analizi bazen kişiye özgü değerlendirmelerde hatalı sınıflamalara yol açabilmektedir. Heyelana duyarlı olarak nitelendirilen litoloji birimlerinde herhangi bir duraysızlığın gözlenmemesi ya da az duyarlı/duyarsız olarak sınıflandırılan birimlerde ise duraysızlığın var olması bu yanlış sınıflamalara örnektir (Guzzetti vd., 1999; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bu nedenle istatistiksel analizleri kapsayan sınıflandırmalar daha az hata içermektedir. Çünkü istatistik analizle alanda mevcut heyelanların hangi litolojik birim içerisinde ne kadar dağılım gösterdiği ortaya konmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).



Şekil 3.3 Çalışma alanına ait litoloji sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Çalışma alanında % 45,057'lik oranla en fazla alansal dağılımı olan Koyulhisar Formasyonu en genç birimi oluşturan Pliyo-Kuvaterner yaşlı oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeralardan oluşmaktadır. Şekil 3.3'de litolojik birimlere ait yüzde dağılım grafiği ve Şekil 3.4'de jeoloji haritası verilmiştir.



Şekil 3.4 Çalışma alanına ait jeoloji haritası.

Çizelge 3.2 Litoloji verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Litoloji	Aşağıkale formasyonu	6,416	5,931	1,082	29,54	4
	Düdenyaylası formasyonu	38,305	29,656	1,292	35,27	5
	Dumanlıca formasyonu	1,695	17,026	0,100	2,73	2
	Alüvyon	0	2,330	0	0	1
	Koyulhisar formasyonu	53,584	45,057	1,189	32,46	5

Litoloji verisi ile heyelan alanları karşılaştırılarak Çizelge 3.2’de elde edilen frekans oranı değerleri verilmiştir. Çalışma alanında Koyulhisar formasyonu heyelanlı piksel yüzdesi bakımından % 53 ile en fazla orana sahiptir. Koyulhisar formasyonunu % 38’lik bir oranla Düdenyaylası formasyonu takip etmektedir. Bu iki formasyonun heyelanlı piksel yüzdesi yaklaşık % 91 ile çalışma alanı içinde büyük bir orana sahiptir.

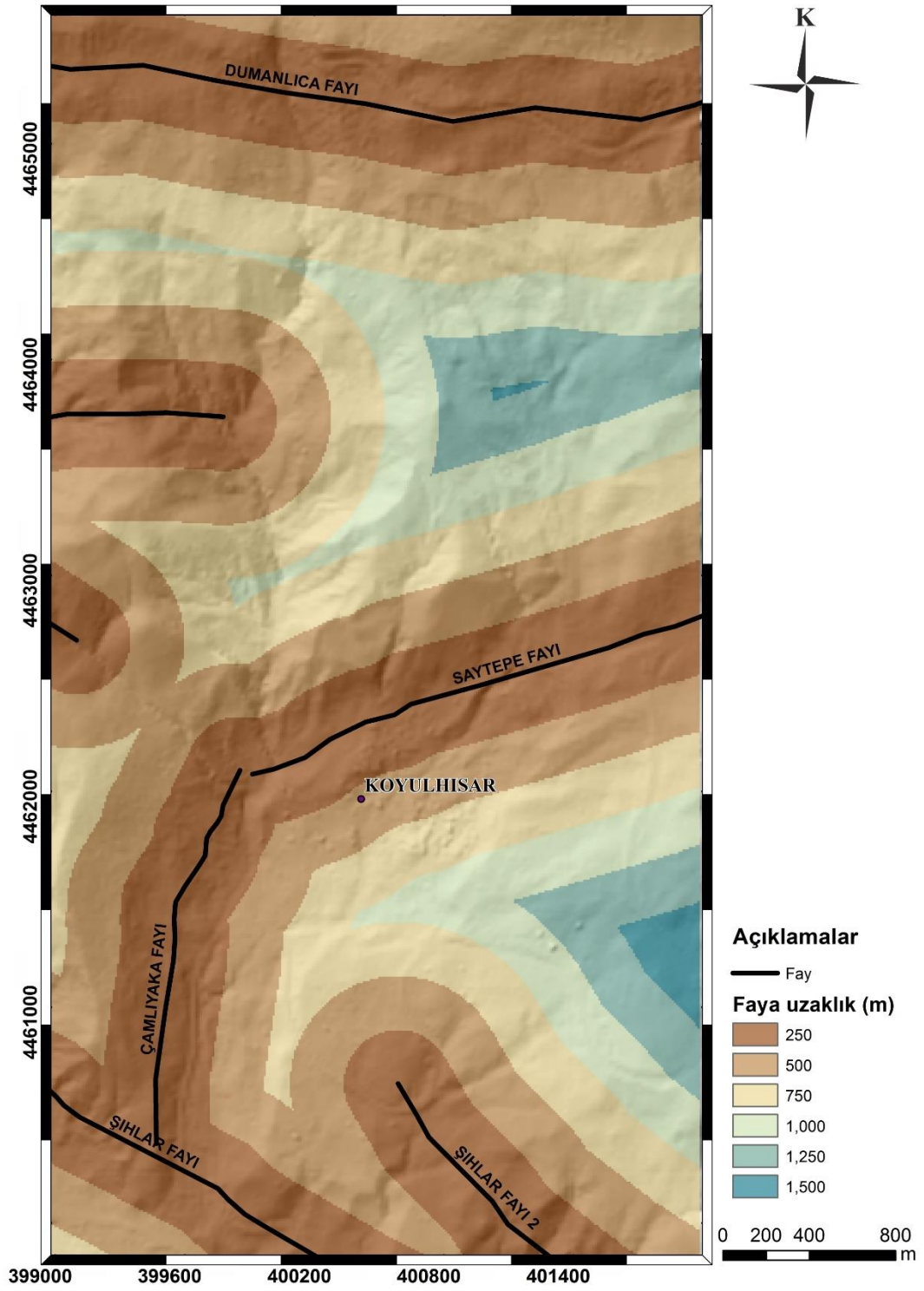
3.3 Faylardan Uzaklık

Heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli bir yapısal unsur olan faylar ve faylara uzaklık birçok araştırmacı tarafından dikkate alınmıştır.

Luzi ve Pergalani (1999), faylara yakın bölgelerdeki kayaçların parçalanmaya sebep olabileceğini ve yamaçların duraysızlığının artmasına ve aktif olmayan faylarında duraysızlığın gelişmesine etkide bulunabileceğini belirtmiştir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

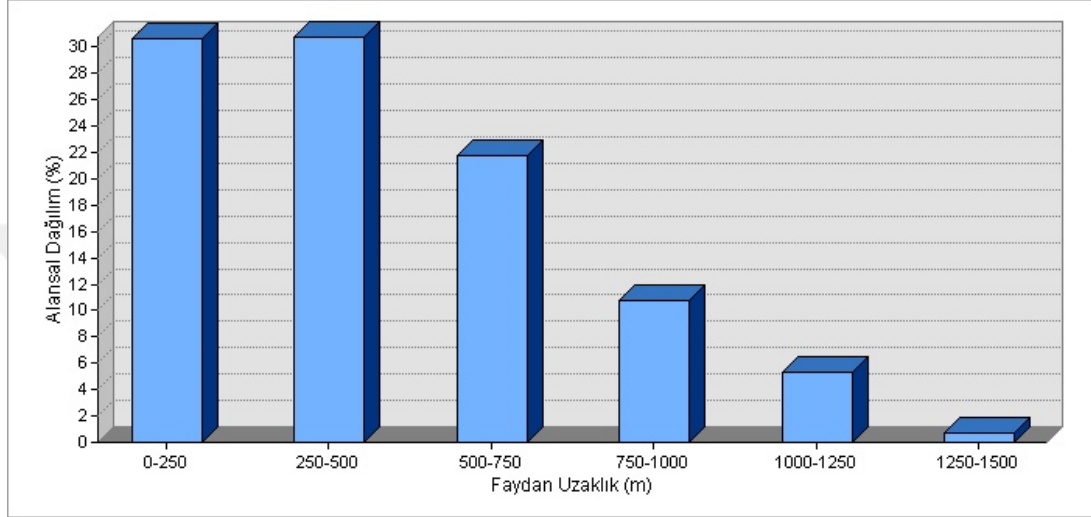
Liu vd., (2004), çalışmalarında heyelanların büyük bölümünün faylara 250 m kadar olan uzaklıktaki bölgelerde oluştuğunu belirterek heyelan duyarlılık analizlerinde fayların kayaçların parçalanmasına sebep olarak bölgedeki malzeme dayanımının azalacağını belirtmişlerdir (Yüksel, 2007; Avcı, 2015).

Çalışma alanı için faylara 250 m aralıklarla tampon (buffer) analizi uygulanarak faylara uzaklık haritası elde edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Çalışma alanına ait faylardan uzaklık haritası.

Çalışma alanının tektonik olarak aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) yakın bölgede yer alması nedeni ile bölgedeki kayalar genellikle kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Bölgenin aktif bir fay zonu üzerinde olması jeolojik birimler üzerindeki süreksizliklerin kaynağını net bir şekilde açıklamaktadır (Hastaoğlu vd., 2015). Faylardan uzaklık sınıflarına ait yüzde dağılım grafiği Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Çalışma alanına ait faylardan uzaklık sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Şekil 3.6'da verilen faylara ait dağılım incelendiğinde 0-500 m uzaklığının dağılımı toplamda yaklaşık % 61'lik bir yüzdeye sahiptir. 500 – 750 m arası % 21, 750 – 1000 m arası %10 ve en az orana sahip olan % 0,7'lik yüzde ile 1250 – 1500 m aralığıdır.

Faylardan uzaklık verisi ile heyelan alanlarının çakıştırılması sonucu Çizelge 3.3'de elde edilen değerler incelendiğinde heyelanlı piksel sayısı 0-750 m aralığında yaklaşık % 76 ile en fazla dağılıma sahiptir. Heyelan yoğunluğu ise 750 – 1000 m aralığında % 29 ile en fazla dağılıma sahiptir.

Çizelge 3.3 Faylardan uzaklık verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Faylardan Uzaklık (m)	0 – 250	25,536	30,611	0,834	14,97	3
	250 – 500	25,579	30,767	0,831	14,92	3
	500 – 750	25,429	21,832	1,165	20,92	4
	750 – 1000	17,597	10,749	1,637	29,39	5
	1000 – 1250	5,858	5,311	1,103	19,80	4
	1250 – 1500	0	0,730	0	0	1

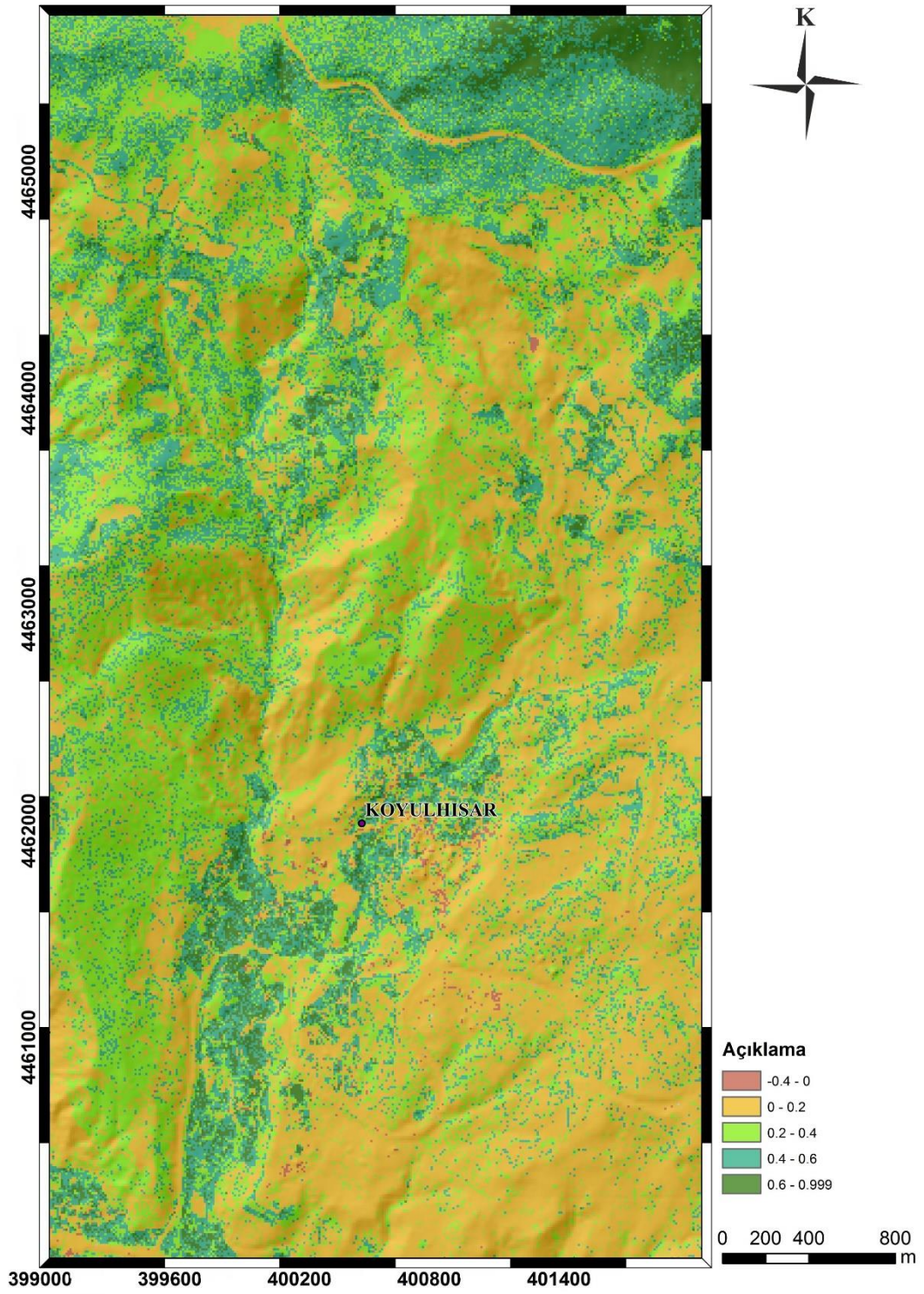
3.4 Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi

Çalışma alanının bitki örtüsü dağılışı NDVI değerleriyle ile ortaya konulmuştur. 2006 tarihli Quickbird uydu görüntüsü ile ArcGIS Image Analysis menüsü kullanılarak NDVI değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.7).

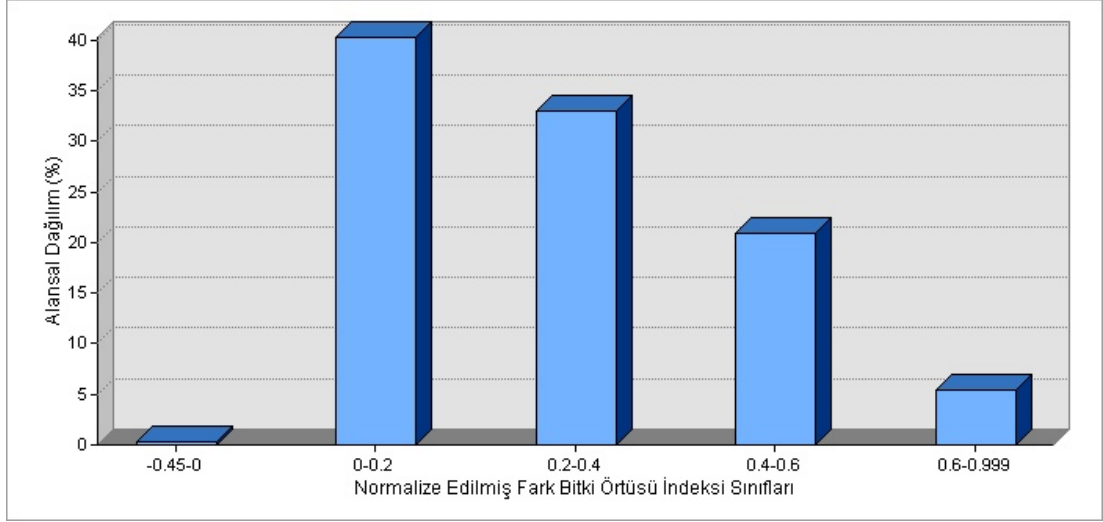
NDVI denklemi aşağıdaki gibidir (Url-1):

$$NDVI = ((IR - R)/(IR + R)) \quad [3.1]$$

IR = kızılötesi bandın piksel değerleri (band 4), R = kırmızı bandın piksel değerleri (band 3). NDVI sonuç değerleri -1 ile +1 arasında değişim göstermektedir. Su, bulut, kar ve bitki örtüsünden yoksun alanlar negatif değerlere sahipken, kayalık ve toprak örtüsü 0'a yakın değer göstermektedir. Yüksek değerler ise bitkilerin yoğunluk kazandığı alanları göstermektedir (Url-1). Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi sınıflarına ait yüzde dağılım grafiği Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Çalışma alanına ait normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi haritası.



Şekil 3.8 Çalışma alanına ait normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.

-1 ile + 1 arasında değişim gösteren bu verilerden 1'e yakın değerler bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgeleri gösterirken 5 sınıfa ayrılan NDVI değerlerinin 0 ile 0,2 değer aralığının alandaki piksel bakımından % 40 ile en fazla dağılıma sahip olduğu gözlenmektedir. -0,45 ile 0 aralığı ise % 0,3 ile en az dağılıma sahiptir (Şekil 3.8).

Çizelge 3.4 Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
NDVI	(-0,45) – 0	0,236	0,387	0,6093	15,48	2
	0 – 0,2	48,219	40,253	1,1979	30,43	5
	0,2 – 0,4	34,571	33,006	1,0474	26,61	4
	0,4 – 0,6	15,000	20,955	0,7158	18,19	3
	0,6-0,99	1,974	5,398	0,3657	9,29	1

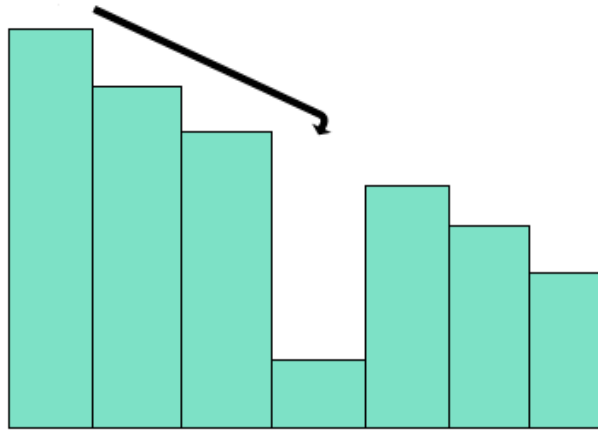
Çizelge 3.4'de verilen normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi verisine ait değerler incelendiğinde heyelanlı piksel bakımından en fazla dağılım % 48 ile 0-0,2 değer aralığıdır. Daha sonra % 34 ile 0,2-0,4 değer aralığı ve % 15 ile 0,4-0,6 değer aralığı gelmektedir. Çalışma alanında en az dağılıma sahip değer aralıkları ise -0,45-0 değer aralığı % 0,2 ve 0,6-0,99 değer aralığı ise % 1,9 ile heyelanlı bölgeler bakımından en az dağılıma sahiptir.

3.5 Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) Üretilen Veriler

Topografya; morfoloji, hidroloji, erozyon, yüzey akış ve sediment taşınımı süreçlerini anlamaya yardımcı olan önemli bir faktördür (Mitasova vd., 2005; Speight, 1980; Morgan, 1996; Azami, 2017).

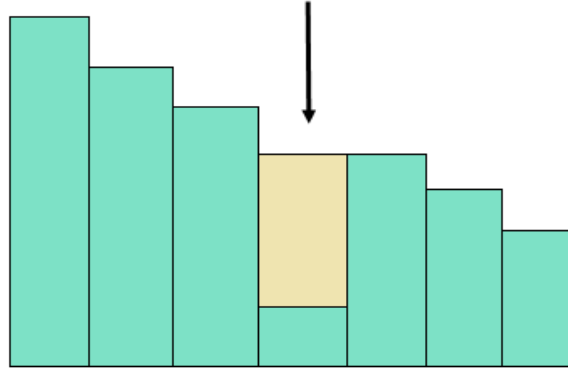
Topografyanın sayısal olarak gösterimi olarak tanımlanan ve topografya analizlerinde temel veri kaynağı olarak kullanılan SYM, ilk olarak 1950 yıllarında ABD’de karayollarına en-boy kesit hesapları ve çizimleri için sınırlı bir alanda uygulanırken, günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle haritacılık, hidroloji, mimarlık, inşaat, madencilik ve çevre gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Yomralıoğlu, 2000).

Tez çalışması kapsamında SYM’den üretilen veriler, topografya etkisinin 1. ve 2. türevleri olarak ele alınmıştır. Üretilen bu verilerden 1. türevler, yükseklik, eğim, bakı, plan eğriselliği ve profil eğriselliğidir. 2. türev veriler, topografik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi, sediman taşıma kapasitesi indeksi verileridir ve 2. türev veri katmanlarının özelliği bu verilerin üretilmesinde birden fazla verinin kullanılmış olmasıdır. Özellikle 2. türev veriler oluşturulurken hataların giderilmesi için ArcGIS’te boşlukları doldurma (Fill) fonksiyonu kullanılmıştır. Güreşçi vd.’ne (2012) göre boşlukları doldurma ile sayısal yükseklik modelinde eğer boşluk hataları varsa bu hataların giderilmesi amacıyla kullanılır. Şekil 3.9’da verildiği gibi eğer herhangi bir hücrenin yanındaki hücreler daha fazla yükseklik değerine sahip ise su, yükseklik değeri az olan bu hücreye doğru akış gerçekleştirecektir.



Şekil 3.9 Sayısal yükseklik modelinde oluşabilen boşluk.

Bu nedenle sayısal yükseklik modelinde mevcut olan boşluklar doldurulmaz ise yüzey akışı oluşmayacağından dolayı bu boşlukların doldurulması gerekmektedir (Şekil 3.10). ArcGIS’te mevcut olan boşlukları doldurma fonksiyonu ile bu problemi çözmek için yükseklik değerlerini yeniden düzenler (Güreşci vd., 2012).



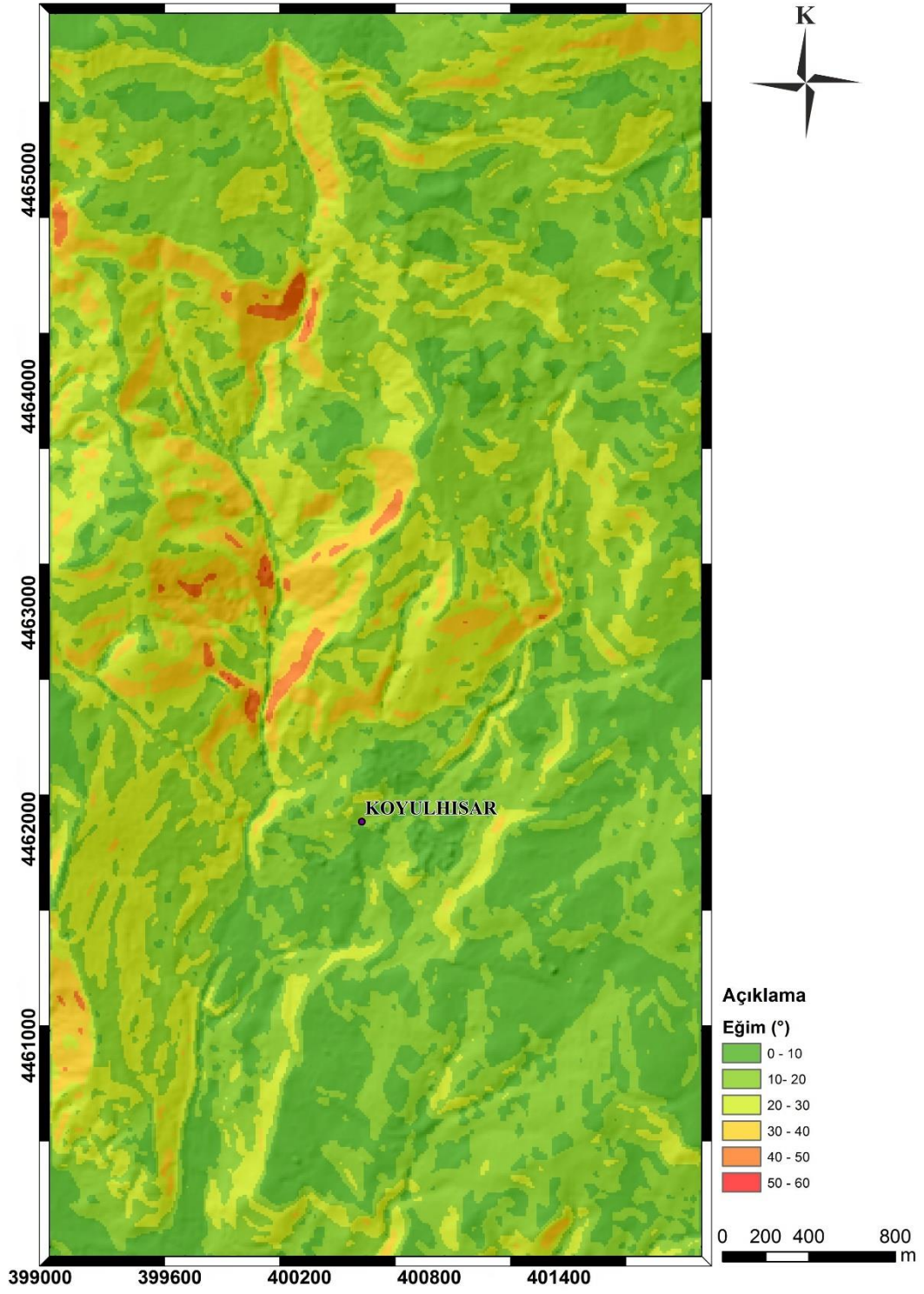
Şekil 3.10 Boşlukların doldurulması.

3.5.1 Eğim

Topografya yüzeyinin yataydan itibaren sapması olarak tanımlanan eğim, belirli bir noktadan düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjant açısıyla hesabıdır. Arazi sınıflamasında, topografyanın tanınmasında eğim bilgisi önemli bir etkendir (Yomralıoğlu, 2000).

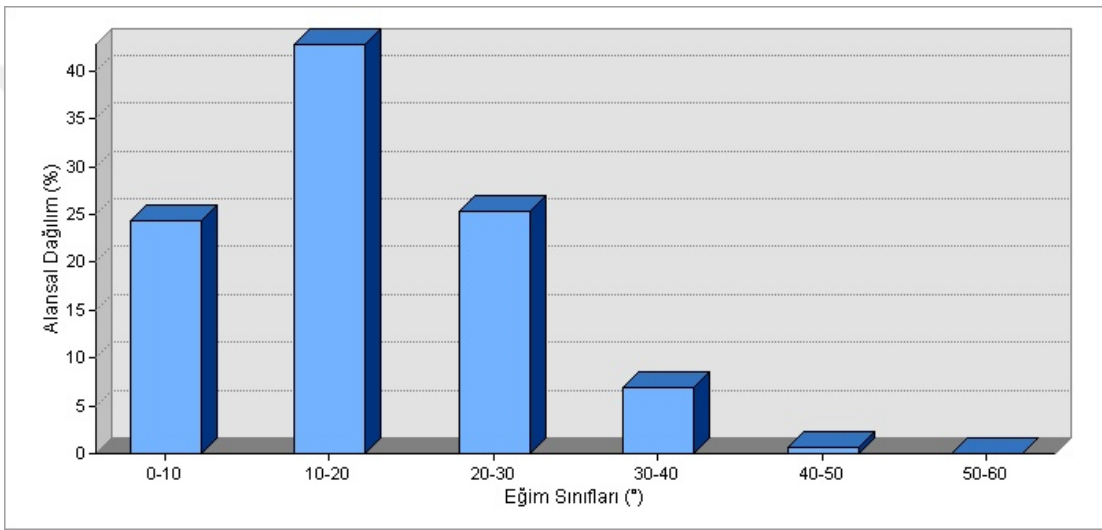
Gökçeoğlu ve Ercanoğlu’na (2001) göre birçok çalışmada ortak eğilimin eğim değeri yükseldikçe heyelan duyarlılığının artacağı şeklinde olduğunu ancak toprak zeminde kaymanın oluşması için zemin kalınlığının 1-2 m gibi değerlere ulaşması gerektiğini belirterek özellikle dik yamaçlarda bu kalınlıklara ulaşması erozyon sebebiyle çoğu zaman mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Jakob (2000), yaptığı çalışmada heyelanların 30° – 40° aralığında meydana geldiği, Uromeihy ve Mahdaviyar’ın (2000) İran’da yaptığı çalışmada heyelanların tamamının 25°’den daha düşük eğimli yamaçlarda, Koukis ve Ziourkas (1991) Yunanistan için yaptıkları envanter çalışmasında heyelanların % 71’nin 30°’den daha az eğimli yamaçlarda belirterek yamaç eğiminin titizlikle değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında en yaygın kullanılan parametrelerden biri olan eğim verisi ArcGIS 10.1 yazılımı kullanılarak Sayısal Yükseklik Modelinden üretilmiştir (Şekil 3.11). (Karsli vd., 2009; Shahabi vd., 2014; Meinhardt vd., 2015) gibi çalışmalar göz önünde bulundurularak 10° aralıklarla 6 sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 3.11 Çalışma alanına ait eğim haritası.

Çalışma alanındaki eğim sınıfları ve toplam alan içindeki dağılımlar Şekil 3.12’de verilmiştir. Üretilen eğim haritasına göre minimum eğim 0.06° , maksimum eğim 50.13° ortalama eğimi ise 16.5° dir. Çalışma alanında eğim aralıklarının alansal dağılımı incelendiğinde 0-10 derece aralığı yaklaşık % 24’lük bir kısma karşılık gelirken, çalışma alanında % 42 ile en fazla yüzdeye sahip olan 10-20 derece aralığıdır. Eğim 20-30 derece aralığında % 25’lik bir dağılım gösterirken, 30-40 derece arasında % 6,8, 40-50 derece arasında % 0,70’lik bir dağılım gözlenmektedir. Kalan % 0,003’lük bölümü ise en az alansal dağılıma sahip olan 50-60 derece aralığı oluşturmaktadır. 30-60 derece aralığı ise yaklaşık % 7’lik yüzde dağılıma sahiptir.



Şekil 3.12 Çalışma alanına ait eğim sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Çalışma sahasına ait üretilen eğim verisi ile heyelanlar karşılaştırılarak arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Bu verilere göre (Çizelge 3.5) heyelanlı alanların en fazla yüzdeye sahip olduğu aralık % 45 ile 10-20° eğim aralığıdır. Daha sonra % 38 ile 20 – 30° eğim aralığı gelmektedir. Çalışma alanında heyelanların yaklaşık % 83’ü 10-30° eğim aralığında yer almaktadır. Heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu aralık ise % 38 ile 20 – 30° eğim aralığıdır.

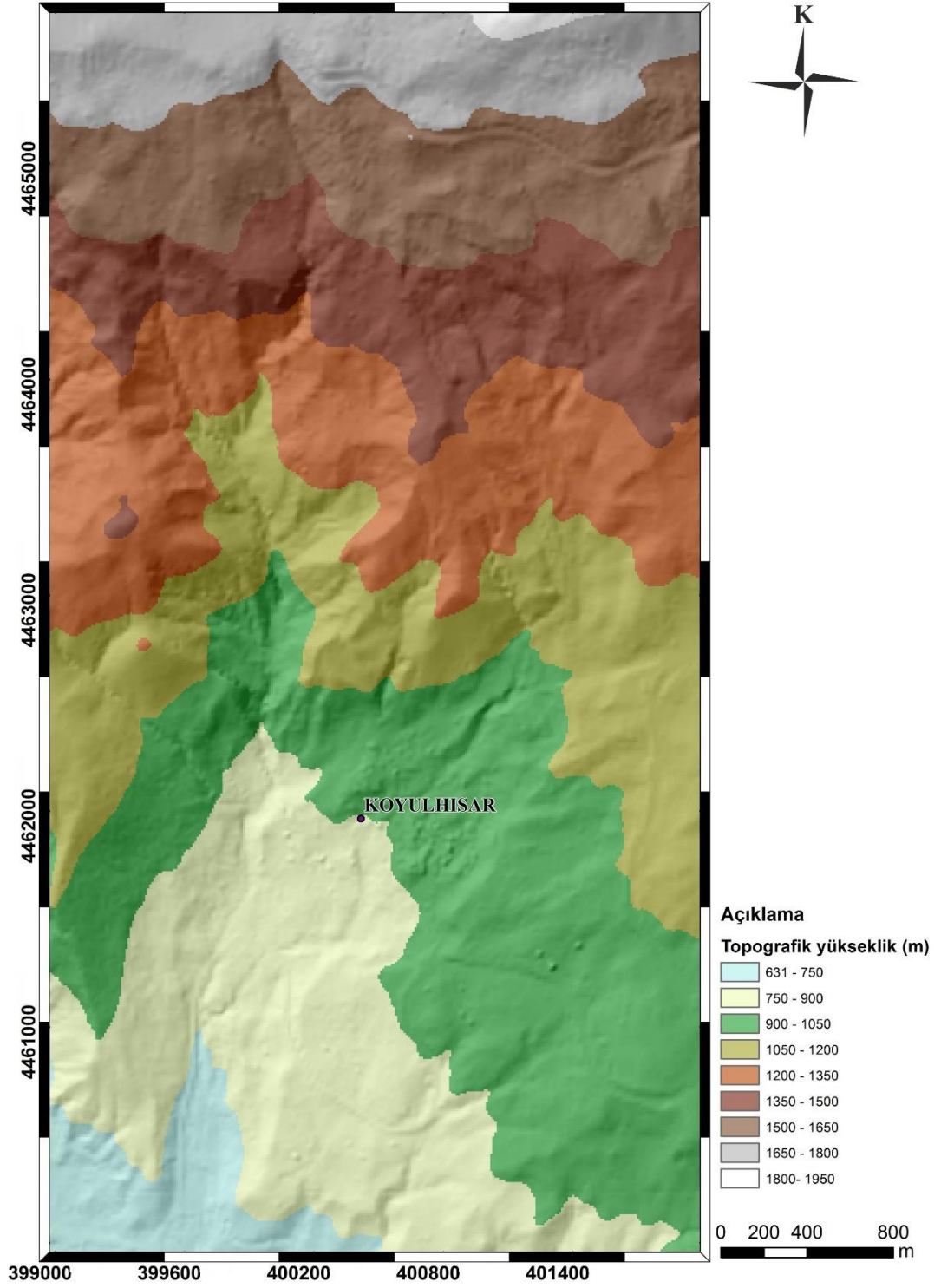
Çizelge 3.5 Eğim verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Eğim (°)	0 – 10	11,0	24,34	0,45	11,48	2
	10 – 20	45,0	42,80	1,05	26,79	4
	20 – 30	38,2	25,28	1,51	38,52	5
	30 - 40	5,8	6,87	0,85	21,68	3
	40 – 50	0	0,70	0,06	1,53	1
	50 - 60	0	0	0	0	1

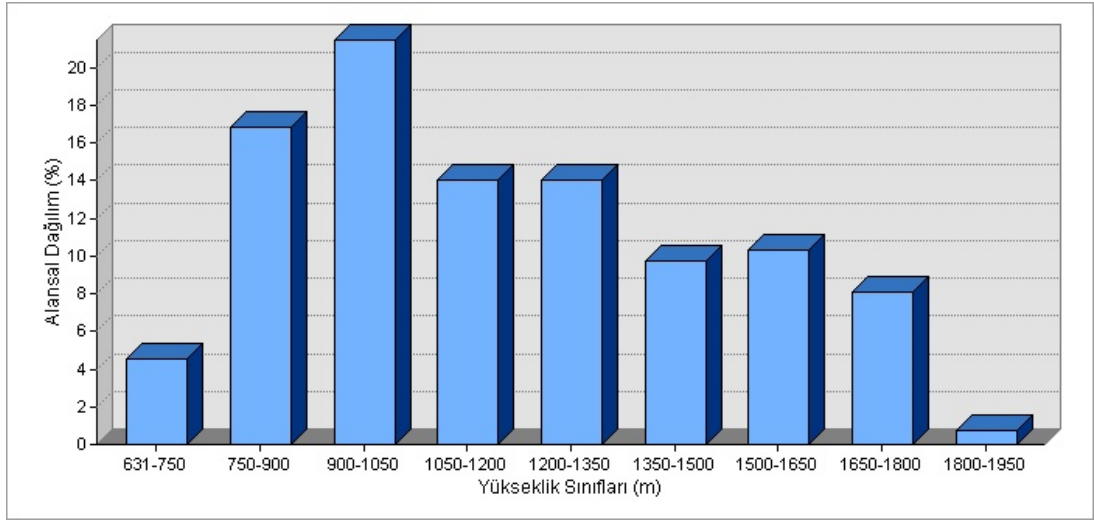
3.5.2 Yükseklik

Yükseklik, deniz seviyesinden veya belirli bir referans noktasından olan yükseltisi olarak tanımlanabilir. Yükseklik ve heyelan arasındaki ilişki incelendiğinde değişik yükseklik gruplarının heyelan duyarlılığı üzerindeki etkileri de farklılık göstermektedir. Yüksek olan kotlarda heyelan ile ilgili ilişkilendirme yapılırken yağış ve sismik analizlerin yapılması gerekmektedir. Orta kotlarda heyelan duyarlılığı ise, daha yüksek bölgelerden gelen ayrılmış malzeme dolayısıyla oluşan toprak örtüsü sebebiyle yüksek kotlardan daha duyarlıdır. Düşük kotlar birçok araştırmacı tarafından heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ancak topografik yüksekliğin, eğim, litoloji, bitki örtüsü gibi verilerle birlikte analiz edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çok düşük kotlarda ise eğimin az olması ve kalın malzeme içermesi sebebiyle daha az duyarlıdır (Çellek, 2013).

Sayısal Yükseklik Modelinden üretilen yükseklik sınıfları 150 m aralıklarla sınıflandırılmıştır (Şekil 3.13). Yükseklik verilerine göre çalışma sahasındaki minimum yükseklik değeri 631 m, maksimum yükseklik 1835 m, ortalama yükseklik değeri ise 1171 m' dir.



Şekil 3.13 Çalışma alanına ait yükseklik haritası.



Şekil 3.14 Çalışma alanına ait yükseklik sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Çalışma alanında yükseklik sınıfları incelendiğinde en fazla alansal dağılıma sahip yükseklik aralığının % 21,47 ile 900-1050 m olduğu görülmektedir. En az alansal dağılım ise % 0,78 ile 1800-1950 m yükseklik aralığıdır (Şekil 3.14).

Çizelge 3.6 Yükseklik verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Yükseklik	631-750	0,77	4,58	0,17	10	1
	750-900	13,24	16,84	0,79	6,96	3
	900-1050	11,85	21,47	0,55	17,09	2
	1050-1200	18,99	14,06	1,35	15,44	4
	1200-1350	17,17	14,04	1,22	35,44	4
	1350-1500	27,40	9,77	2,80	12,91	5
	1500-1650	10,58	10,33	1,02	0	4
	1650-1800	0	8,12	0	0	1
	1800-1950	0	0,78	0	10	1

150 m aralıklarla 9 sınıfa ayrılan topografik yükseklik verisi ile heyelan alanları çakıştırılarak frekans oranı değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. 1350-1500 m yükseklik aralığında % 27 ile heyelanlı piksel yüzdesi bakımından en yüksek orana sahiptir. 1050-1500 m yükseklik değer aralığı heyelanlı alan yüzdesi bakımından % 63'lük değere sahiptir. Heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu değer aralığı ise % 35 ile 1200-1350 m aralığıdır.

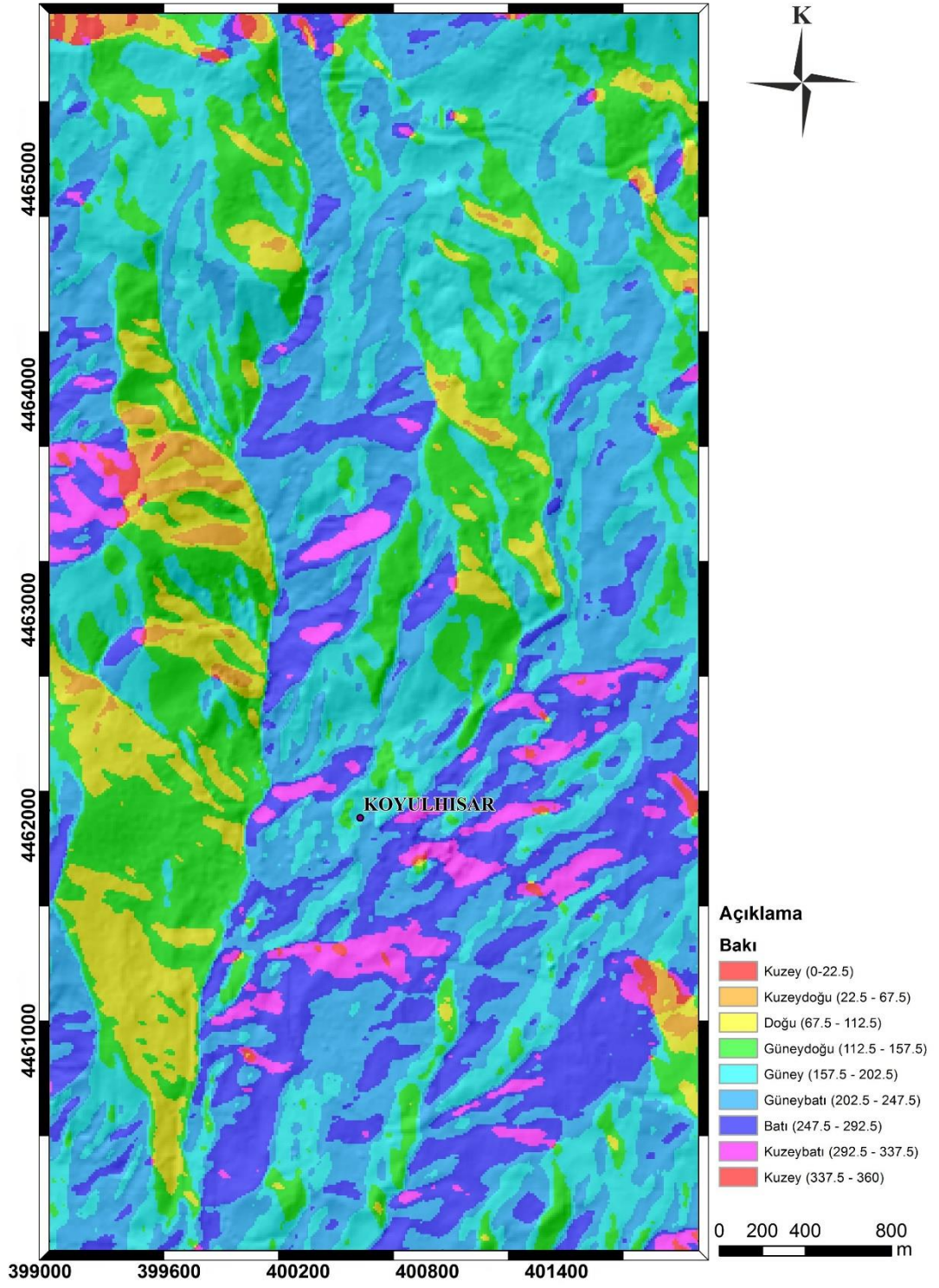
3.5.3 Bakı

Yüzeyin herhangi bir noktasındaki bakı, bu noktadan geçen teğet düzleminin baktığı yön olarak tanımlanıp, kuzeyden itibaren saat yönünde tanımlanan açıdır (Yomralıoğlu, 2000).

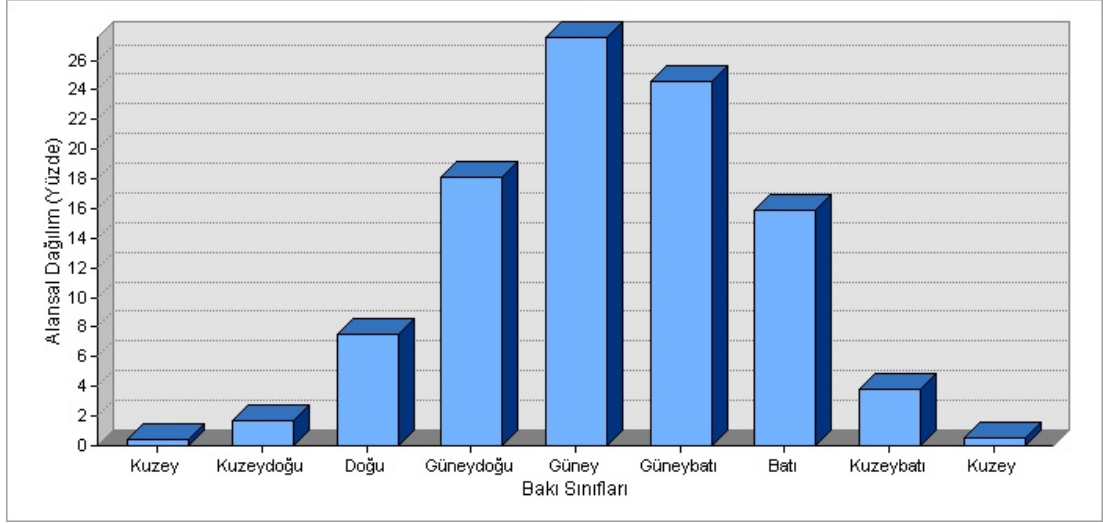
Bakı ve heyelan ilişkisi birçok araştırmacı tarafından incelenerek meydana gelen heyelanların belirli bakı aralığında yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Belli bakılarda yoğunlaşmasının nedeni yağış, sahanın morfolojik durumu, güneş ışığını daha fazla alması gibi olaylarla yakından ilişkilidir (Çellek, 2013).

Heyelan duyarlılığı her bir yamaçta farklı olan ve 0-360° arasında oluşturulan bakı verisi ana ve ara coğrafi yönleri (Kuzey, Güney, Kuzeybatı vb.) kapsayacak şekilde sınıflara ayrılmıştır (Şekil 3.15).

Şekil 3.16'de verilen çalışma alanına ait bakı sınıfları yüzde dağılım grafiği incelendiğinde % 27,54 ile en fazla orana sahip güney bakısı, % 24,59 ile güneybatı, % 18,07 güneydoğu bakısı bulunmaktadır. Çalışma alanının % 70,2 gibi büyük bir kısmını güney bakıları oluşturmaktadır. Kuzey bakısı ise % 0,87 ile en az alansal dağılıma sahiptir.



Şekil 3.15 Çalışma alanına ait bakı haritası.



Şekil 3.16 Çalışma alanına ait bakı sınıfları yüzde dağılım grafiği.

9 sınıfa ayrılan bakı verisine ait frekans oranı değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Özellikle güney bakılarının heyelan yoğunluğu daha fazladır. Güneydoğu bakısı %21 güney bakısı % 37 ve güneybatı bakısı % 21 olmak üzere bu üç bakı heyelanlı piksel yüzdesinin yaklaşık % 79’unu kapsamaktadırlar.

Çizelge 3.7 Bakı verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Bakı	Kuzey	0	0,39	0	0	1
	Kuzeydoğu	0,26	1,68	0,15	2,71	1
	Doğu	10,60	7,53	1,41	25,45	5
	Güneydoğu	21,89	18,07	1,21	21,84	4
	Güney	37,51	27,54	1,36	24,55	5
	Güneybatı	21,16	24,59	0,86	15,52	3
	Batı	8,56	15,87	0,54	9,75	2
	Kuzeybatı	0,02	3,84	0,01	0,18	1
	Kuzey	0	0,48	0	0	1

3.5.4 Topografik nemlilik indeksi

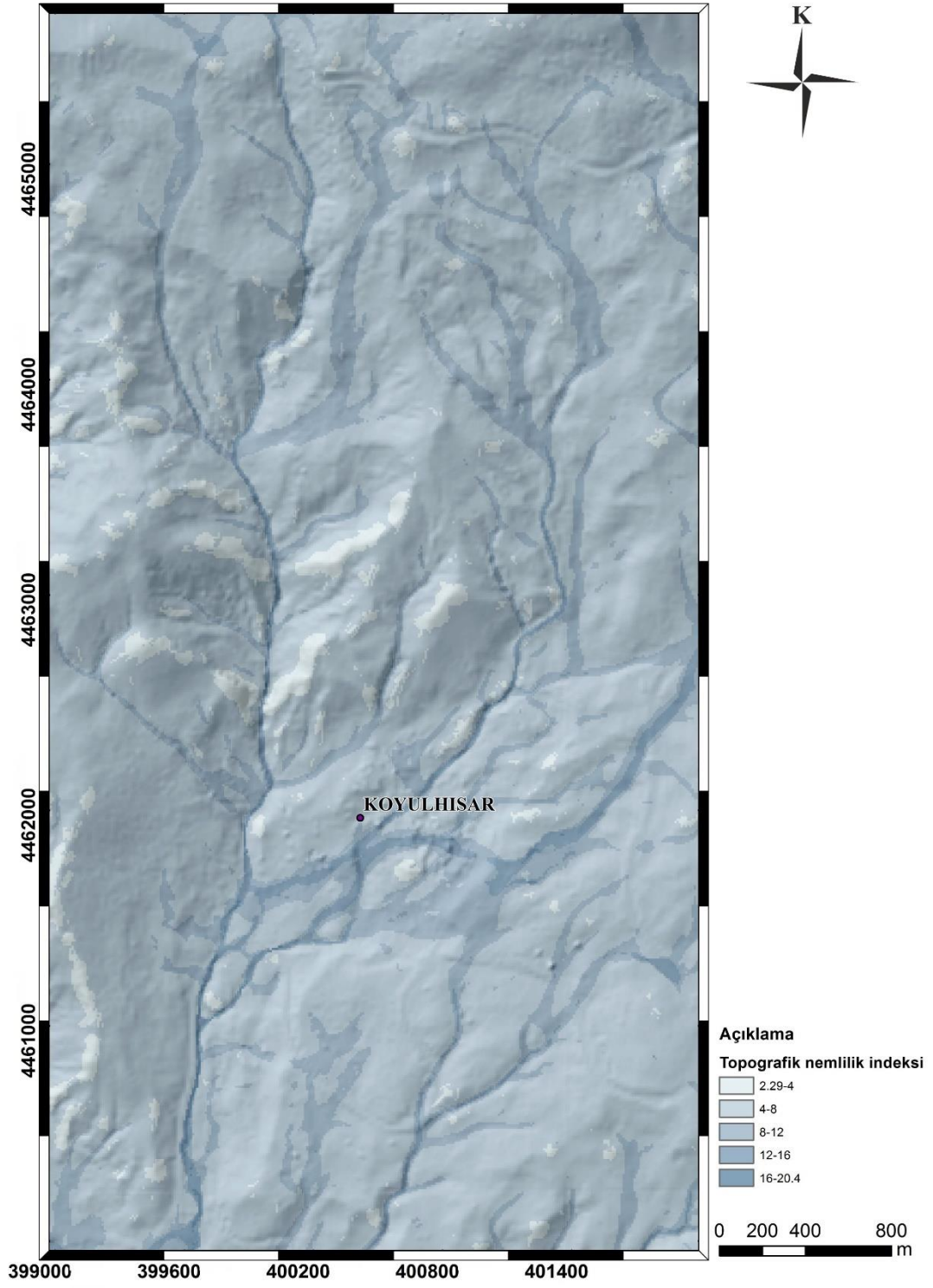
Topografik nemlilik indeksi kütle hareketlerinin oluşumunu etkilemektedir. Moore vd., (1991) tarafından topografik nemlilik indeksini hesaplamak için, üniform toprak özellikleri ve sabit durum koşulları altında [3.2]'de verilen eşitlik önerilmiştir.

$$TWI = \ln(A_s / \tan\beta) \quad [3.2]$$

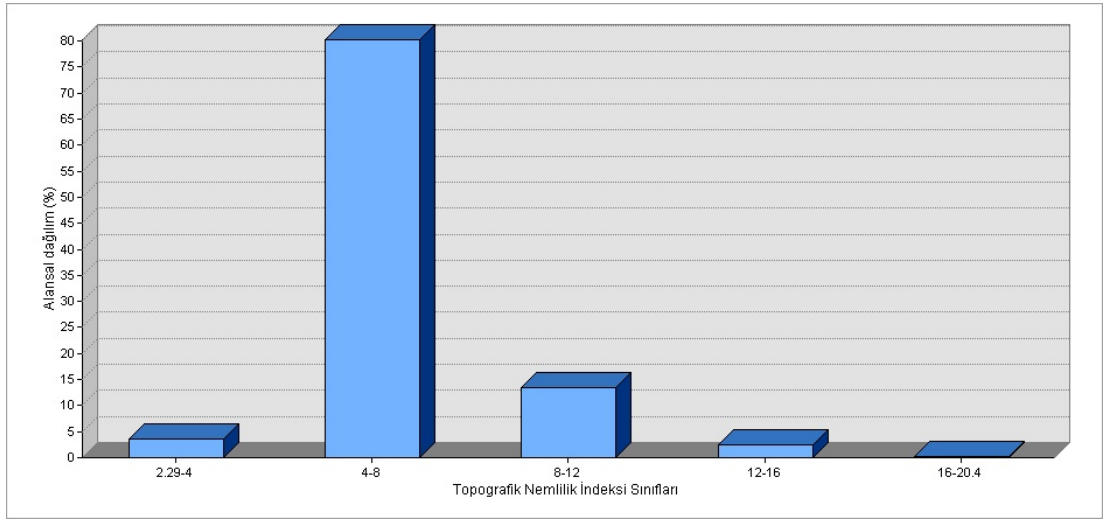
Eşitlikte verilen A_s , havza alanını; β ise yamaç eğimini ifade etmektedir (Nefeslioğlu vd., 2008). Önerilen bu eşitlik, yamaç eğiminin az ve havza alanının geniş olduğu doyum alanlarını tahmin etmeye olanak sağlamaktadır (Dağdelenler, 2013). Çalışma alanına ait topografik nemlilik indeksi haritası Şekil 3.17'de verilmiştir.

Gökçeoğlu vd., (2005), Koyulhisar Kuzulu'da 2005 yılında meydana gelen heyelanda, topografik nemlilik indeksi etkisinin önemini vurgulamışlardır. Kuzulu heyelanının olduğu bölgede kar yağışları sonrası bahar döneminde karların erimesiyle meydana gelen suların büyük kısmı malzeme içine süzülerek malzemenin dayanımının azalmasına neden olmuştur. Bu açıdan jeolojik birimlerdeki geçirimsizlik ile topografik nemlilik indeksinin birlikte yorumlanmasının önemini belirtmişlerdir (Görüm, 2006).

Topografik nemlilik indeksi sınıflarına ait yüzde dağılım grafiği Şekil 3.18'de verilmiştir. Çalışma alanının topografik nemlilik indeksi değerlerine bakıldığında minimum değeri 2,54, maksimum değeri 20,4 ve ortalama topografik nemlilik indeksi değeri ise 6,28'dir. Alandaki topografik nemlilik indeksi değeri piksel dağılımları incelendiğinde 4-8 aralığı % 80 ile en fazla dağılıma sahiptir. 16 – 20,4 aralığı ise % 0,13 ile en az dağılıma sahip olan değer aralığıdır.



Şekil 3.17 Çalışma alanına ait topografik nemlilik indeksi haritası.



Şekil 3.18 Çalışma alanına ait topografik nemlilik indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.

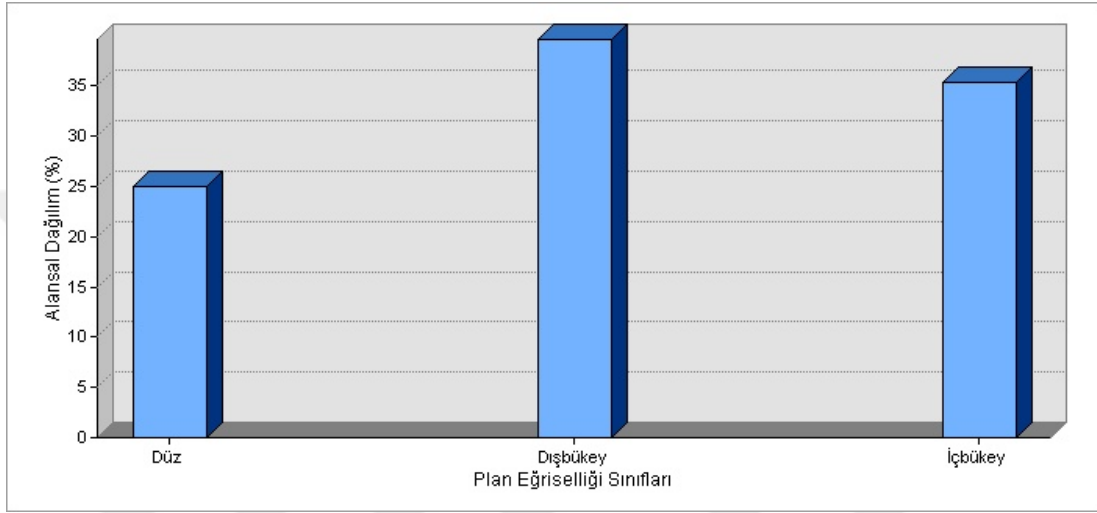
Çalışma sahasına ait üretilen topografik nemlilik indeksi verisi ile heyelanlar çakıştırılarak Çizelge 3.8’de verilen değerler incelendiğinde 4-12 aralığındaki değerlerinin heyelanlı piksel değerleri % 96 ile en fazla dağılıma sahiptir. 16 – 20,4 değer aralığı ise % 0,02 ile en az dağılıma sahiptir.

Çizelge 3.8 Topografik nemlilik indeksi verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Topografik nemlilik indeksi	2,29 - 4	1,137	3,686	0,309	8,99	2
	4 - 8	81,738	80,259	1,018	29,60	4
	8 - 12	15,107	13,535	1,116	32,45	5
	12 - 16	1,996	2,386	0,836	24,31	3
	16 – 20,4	0,021	0,134	0,160	4,65	1

3.5.5 Plan eğriselliği

Plan eğriselliği konverjans (birleşen) veya diverjans (ayrılan) alanlarını belirleyerek yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. Plan eğrisellik haritasında negatif değerler akışın toplandığını (içbükey yamaçları), pozitif değerler dağıldığını (dışbükey yamaçları) belirtir. Profil eğriselliği haritasında ise akış yönüne doğru eğim değişim oranını ifade eder (Wilson ve Gallant, 2000; Delikanlı, 2010).

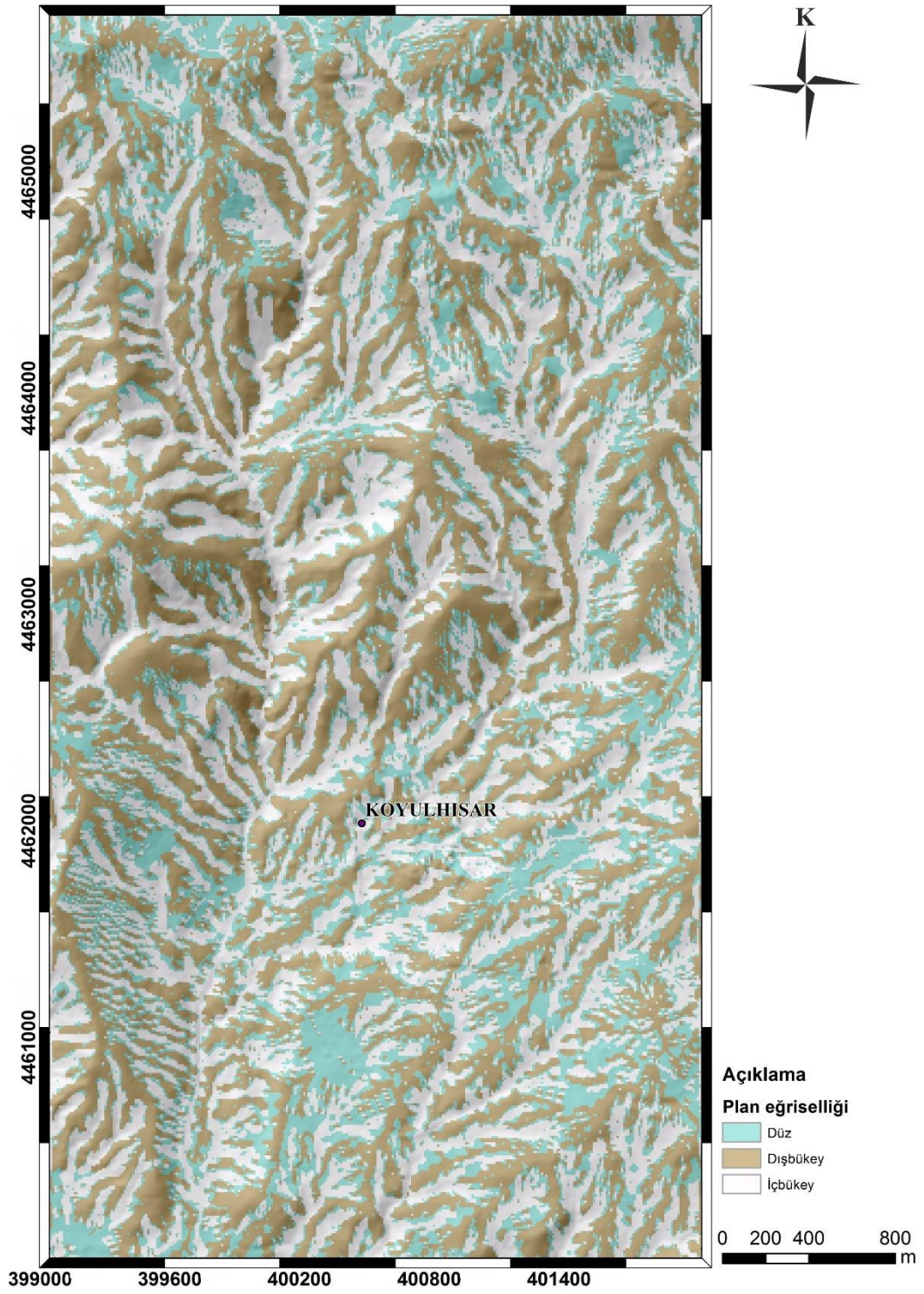


Şekil 3.19 Çalışma alanına ait plan eğriselliği sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Şekil 3.19’da verilen çalışma alanına ait plan eğriselliği sınıfları yüzde dağılım grafiği incelendiğinde dışbükey sınıfı % 39 ile alandaki en fazla dağılıma sahiptir. İçbükey sınıfı % 35 ve düz sınıfı ise alanda % 25’lik dağılıma sahiptir. Çizelge 3.9’da verilen plan eğriselliği değerlerinin heyelanlı piksel yüzdeleri ise düz % 18, içbükey % 41, dışbükey sınıfı ise % 39 olarak bulunmuştur. Çalışmada SYM haritası kullanılarak üretilen plan eğriselliği haritası Şekil 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.9 Plan eğriselliği verisine ait frekans oranı değerleri

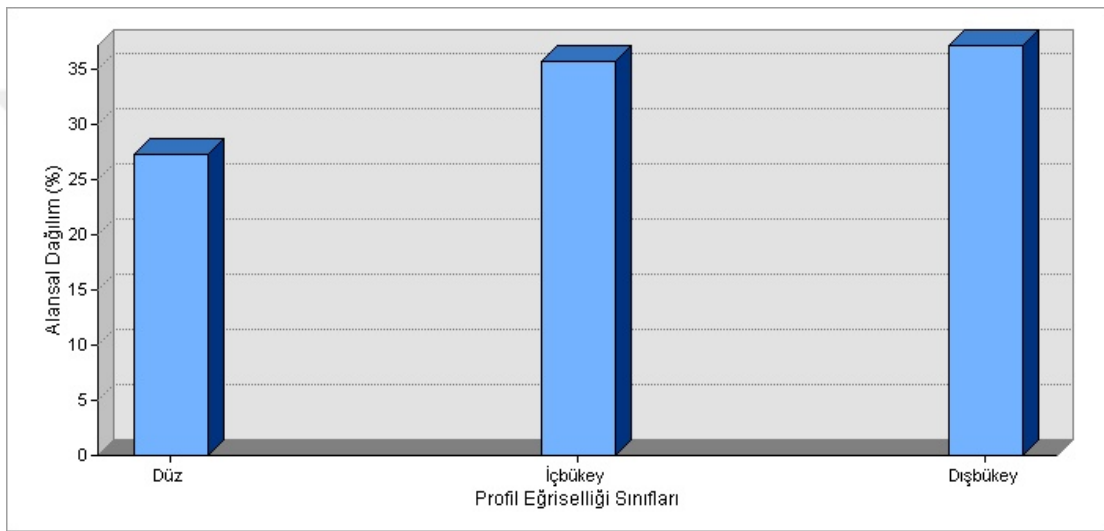
Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Plan eğriselliği	Düz	18,841	25,016	0,753	25,72	1
	İçbükey	41,674	35,370	1,178	40,23	5
	Dışbükey	39,485	39,613	0,997	34,05	3



Şekil 3.20 Çalışma alanına ait plan eğriselliği haritası.

3.5.6 Profil eğriselliği

Profil eğriselliğinde pozitif olan değerler içbükey yamaçları, negatif değerler ise dışbükey yamaçları gösterirler. Profil eğriselliği haritasında negatif değerler aşındırma alanlarını pozitif değerler ise biriktirme alanları olarak ifade edilirken suyun akış hızının değişimine etki ettiğinden dolayı malzemenin taşınmasıyla birlikte erozyonu etkiler (Wilson ve Gallant, 2000; Altural, 2012). Şekil 3.21’de verilen profil eğriselliği sınıfları yüzde dağılım grafiğine göre alandaki piksel sayısı bakımından % 37 ile en fazla yüzdeye sahip olan dışbükey sınıftır. Daha sonra % 35 ile içbükey sınıfı ve % 27 ile düz sınıfı yer almaktadır.

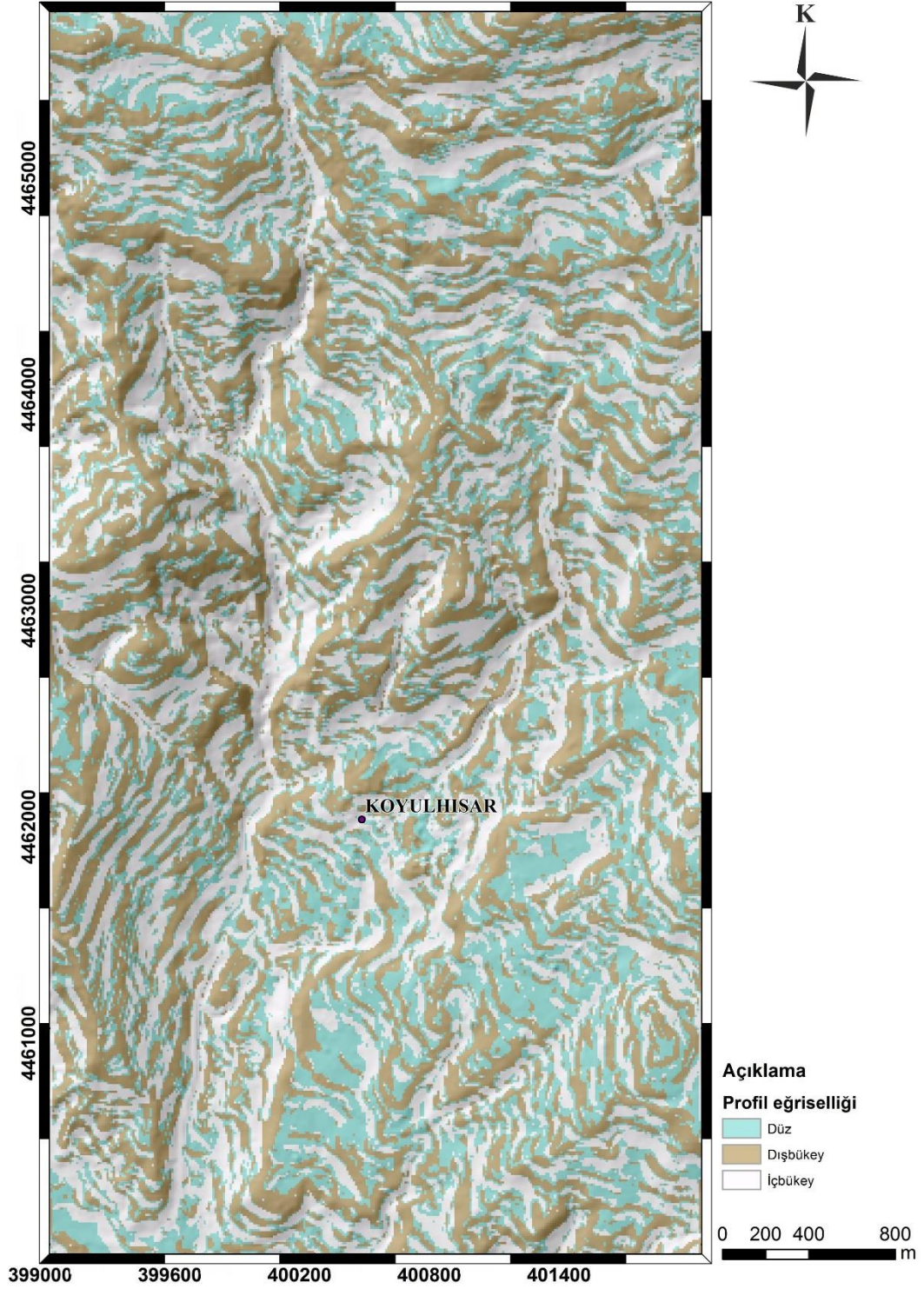


Şekil 3.21 Çalışma alanına ait profil eğriselliği sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Çizelge 3.10’de görüldüğü gibi profil eğriselliği verisi ile heyelan verisi karşılaştırıldığında çalışma alanındaki heyelanlı piksel değerleri ise içbükey sınıfı % 41, dışbükey sınıfı % 38, düz sınıfı ise % 20 olarak bulunmuştur. Profil eğriselliği verisine ait harita Şekil 3.22’te verilmiştir.

Çizelge 3.10 Profil eğriselliği verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Profil eğriselliği	Düz	20,601	27,274	0,755	25,67	1
	İçbükey	41,266	35,644	1,158	39,37	5
	Dışbükey	38,133	37,082	1,028	34,95	3



Şekil 3.22 Çalışma alanına ait profil eğriselliği haritası.

3.5.7 Sediman taşıma kapasitesi indeksi

Akarsuyun belirli bir noktadaki aşındırma potansiyelinin ölçüsünü belirlemek için akarsu eğimi ve beslenme alanına bağlı olarak belirlenen ve Moore ve Burch (1986 a,b) tarafından geliştirilen Sediman Taşıma Kapasitesinin hesaplanması için [3.3]'de verilen denklem aşağıdaki gibidir (Delikanlı, 2010):

$$LS=(m+1)\left(\frac{As}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^n \quad [3.3]$$

LS= Sediman taşıma kapasitesi indisi

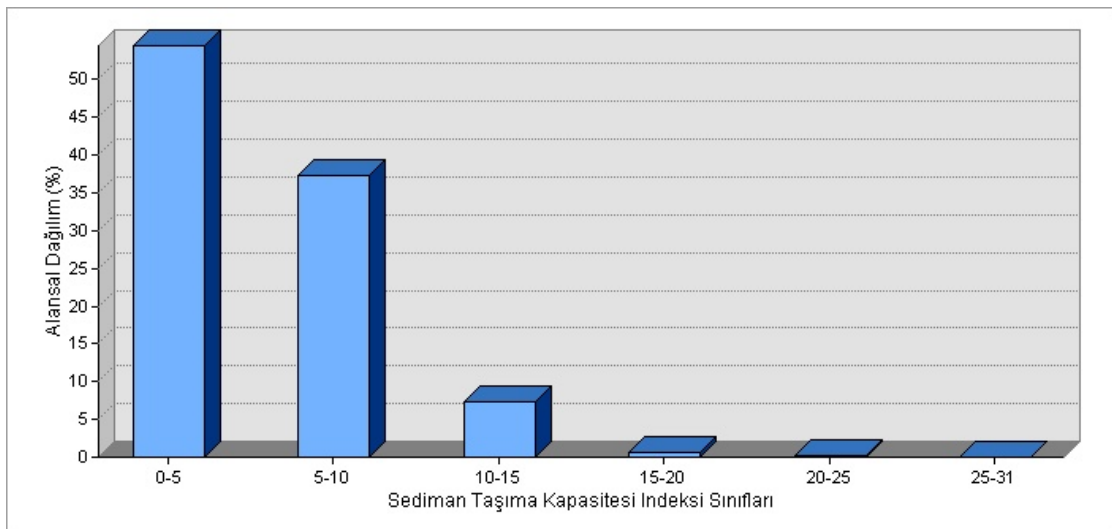
m= 0,4

n= 1,3

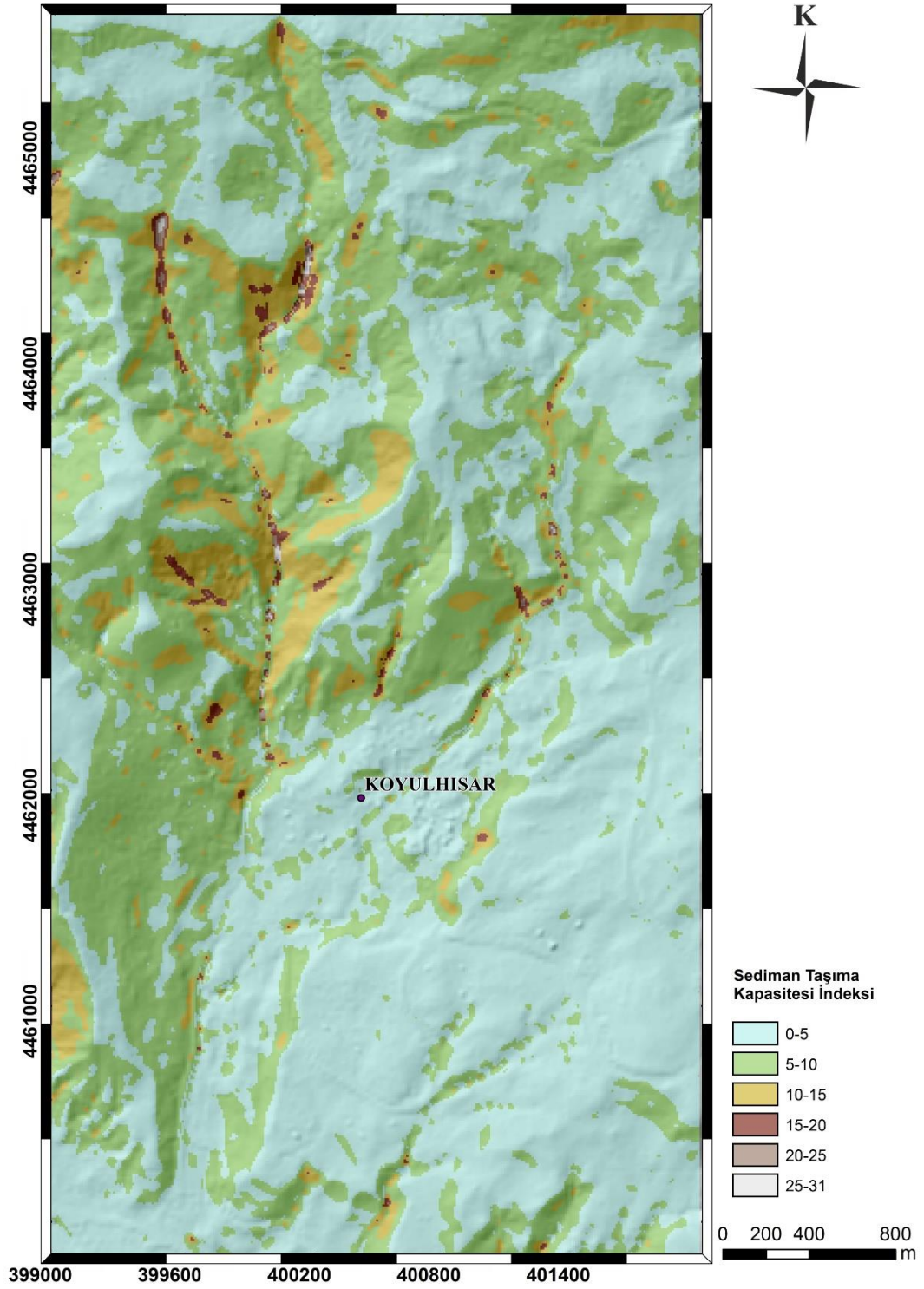
β : yamaç eğimi açısı

As: özgül toplama alanı

Wilson ve Gallant'a (2000) göre, sediman taşıma kapasitesi indeksi haritasında elde edilen küçük değerler daha çok havza sınırlarında gözlenirken büyük değerler ise yamaç eğiminin yüksek olduğu yamaçlarda ve geniş toplama havzasına sahip olan yerleri göstermektedir (Altural, 2012). Şekil 3.23'de verilen sediman taşıma kapasitesi indeksi dağılımlarına bakıldığında 0-10 aralığı alanda % 91'lik yüzdeyle en fazla dağılıma sahiptir. 25 -31 değer aralığı ise % 0,04 ile alandaki en az dağılıma sahiptir. Çalışma alanına ait sediman taşıma kapasitesi indeksi haritası Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Çalışma alanına ait sediman taşıma indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.



Şekil 3.24 Çalışma alanına ait sediman taşıma kapasitesi indeksi haritası.

Çizelge 3.11’de verilen sediman taşıma kapasitesi indeksi verisine ait heyelanlı piksel değerleri incelendiğinde 5-10 değer aralığı % 48 ile en fazla yüzdeye sahiptir. 15-20 değer aralığı ise % 35,74 ile heyelan yoğunluğu en fazla yüzdeye sahiptir.

Çizelge 3.11 Sediman taşıma kapasitesi indeksi verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Sediman taşıma kapasitesi indeksi	0 - 5	37,424	54,466	0,687	7,74	2
	5 -10	48,197	37,321	1,291	14,54	3
	10 -15	12,124	7,422	1,633	18,39	3
	15 -20	2,0171	0,635	3,174	35,74	5
	20 -25	0,236	0,112	2,096	23,60	4
	25 -31	0	0,041	0	0	1

3.5.8 Akarsu gücü indeksi

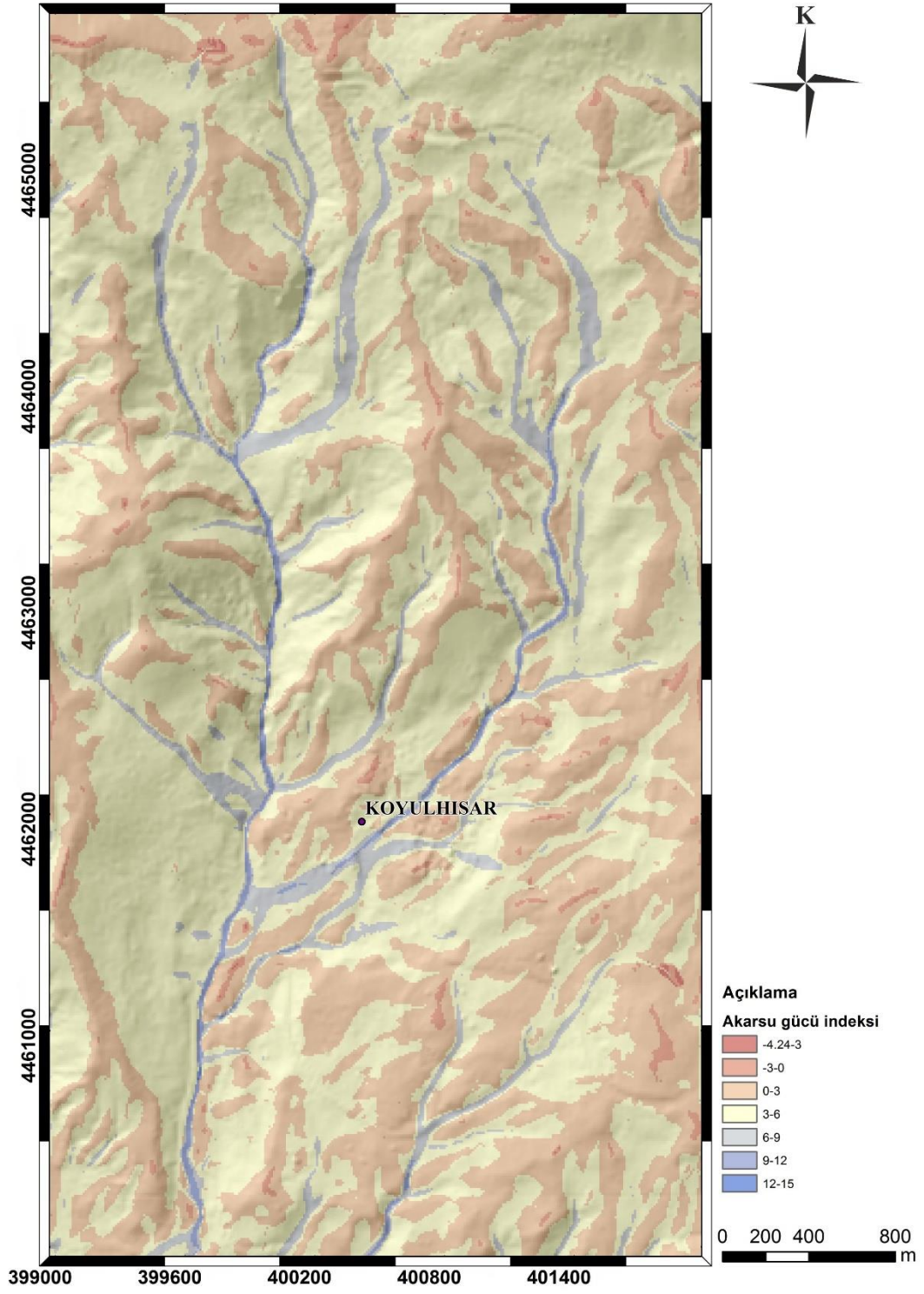
Akarsu aşındırma gücü indeksi Moore vd., (1991) tarafından akış halindeki suyun erozyon gücünün ifadesi olarak tanımlanmakta olup, bu indeks denklem [3.4] kullanılarak hesaplanmaktadır. Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi haritası Şekil 3.25’de gösterilmiştir.

$$SPI= A_s * \tan\beta \quad [3.4]$$

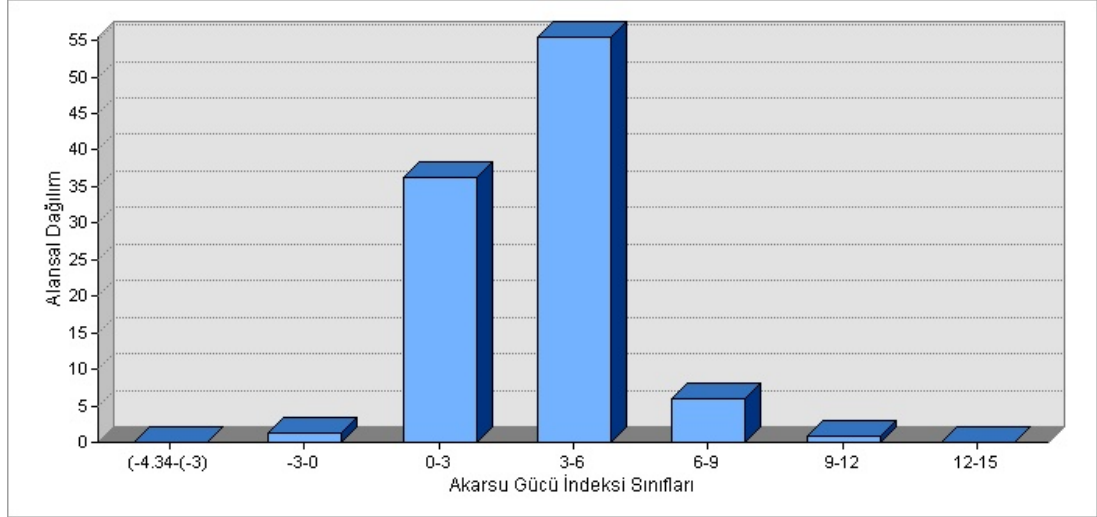
Burada;

(A_s)= havza alanı

($\tan\beta$)=yamaç eğimini ifade etmektedir.



Şekil 3.25 Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi haritası.



Şekil 3.26 Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi sınıfları yüzde dağılım grafiği.

Çalışma alanının akarsu gücü indeksi değerleri -4,34 ile 15 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 3.26’da verilen dağılımlara göre çalışma alanındaki en fazla dağılıma sahip olan akarsu gücü indeksi değerleri % 55 ile 3-6 sınıf aralığıdır. Daha sonra % 36 ile 0-3 sınıf aralığı gelmektedir. Yani 0 ile 6 sınıf aralığı yaklaşık % 91’lik yüzde ile çalışma alanının büyük bir bölümünü kapsamaktadır.

Çizelge 3.12 Akarsu gücü indeksi verisine ait frekans oranı değerleri

Faktörler	Sınıf	Heyelanlı piksel % A	Alandaki piksel % B	Frekans Oranı (FO) (A/B)	Heyelan Yoğunluğu (%)	Alt Sınıf Puanı
Akarsu gücü indeksi	-4,34 -3	0	0,058	0	0	1
	-3 - 0	0,643	1,366	0,471	7,55	2
	0 - 3	23,583	36,344	0,648	10,38	3
	3 - 6	62,296	55,443	1,123	17,99	4
	6 - 9	11,652	5,880	1,981	31,74	5
	9 - 12	1,824	0,903	2,018	32,33	5
	12 - 15	0	0,003	0	0	1

Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi değerleri ile heyelan alanları çakıştırıldığında ise heyelan yoğunluğu % 64’lük yüzdeyle 6-12 değer aralığında yoğunlaşmıştır (Çizelge 3.12).

3.6 Jeodezik Verilerin Elde Edilmesi

3.6.1 Global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) verisi

GNSS, uydu sinyalleri yardımıyla GNSS alıcısına sahip olunan herhangi bir yer ve zamanda, çeşitli hava koşullarında, global bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlılıkta, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren navigasyon sistemidir (Kahveci ve Yıldız, 2009; Kahveci, 2014).

GNSS teknolojisinin askeri kullanım alanları dışında ilk uygulama alanlarından olan ölçme ve haritacılık dışında, GNSS sistemleri tarım, ulaşım, ticari uygulamalar, insansız araçlar, CBS, madencilik gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Jeffrey, 2010).

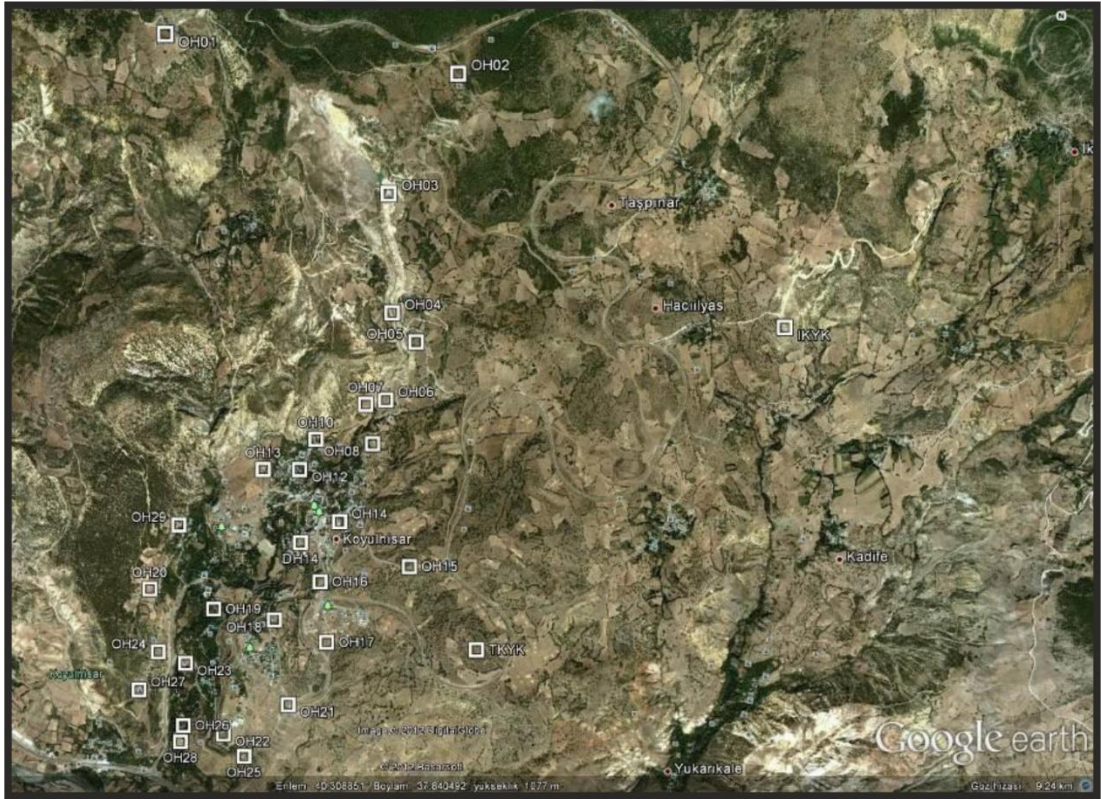
Yerbilimlerinde önemli yöntemlerden biri haline gelen GNSS özellikle son 30 yılda önemli bir gelişme kaydetmiştir. Yüksek doğruluk sağlayan ve maliyetinin düşük olması sebebiyle en çok kullanılan yöntemlerden biri olan bu yöntemle verilerin hesaplanması ve analizi için GNSS verilerinin kampanyalar halinde elde edilmesi, global istasyonlar kullanılarak bir araya getirilmesi ile önemli derecede kolaylık sağlanmaktadır (Yavaşoğlu vd., 2016)

Hastaoglu vd., (2015) tarafından yapılmış 111Y111 nolu TUBİTAK projesinden elde edilen GNSS hız değerleri tez çalışması için alınıp kullanılmıştır. Yaptıkları TUBİTAK projesi kapsamında ilk olarak alanda daha önceden yapılmış çalışmaları incelemişlerdir. Daha sonra kurulacak GNSS noktası lokasyonlarını tespit ederken hem önceki çalışmalardan yola çıkarak hem de ilçe merkezinde gözle görülebilir şekilde mevcut olan deformasyonlar sebebiyle ve bu bölgede ki deformasyonların ana sebebinin yer altı su seviyesinin yüksek olmasından kaynaklanabileceğini belirterek Emniyet binası ve yakın çevresinde nokta sıklığını arttırmışlardır. Koyulhisar ilçe merkezinde binalarda meydana gelen deformasyonlar Şekil 3.27’de verilmiştir.

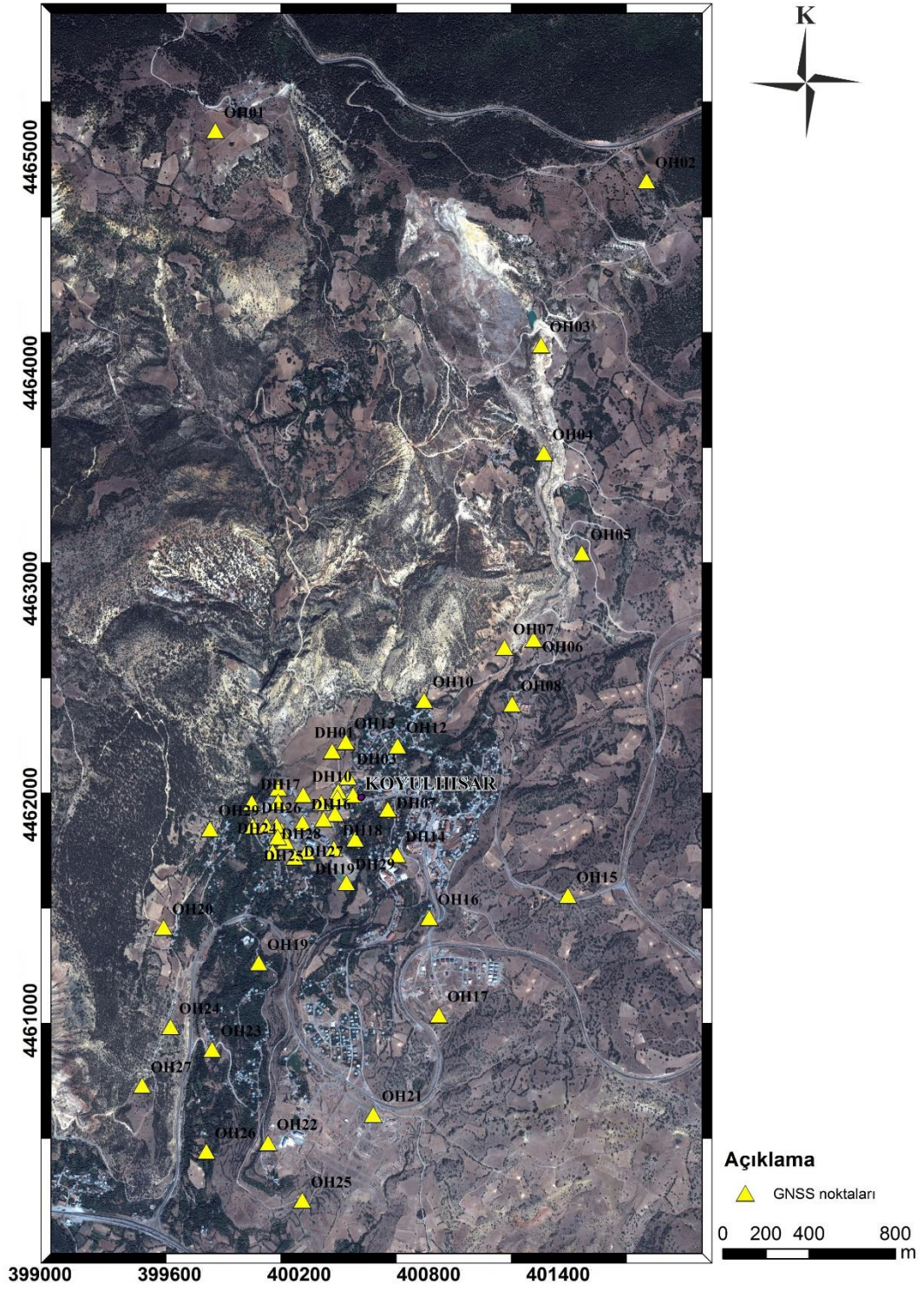


Şekil 3.27 Binalarda meydana gelen deformasyonlar.

Çalışma alanında iki adet farklı GNSS nokta ağı planlanmıştır. İlçe merkezinde bulunan Emniyet Müdürlüğü binası ve çevresini kapsayan 30 nokta ve bu noktaların birbirine mesafesi 50-70 m arasında değişen birinci GNSS nokta ağı, diğeri ise şehir merkezini içeren ve 24 noktadan oluşan ve bu noktalar arası mesafenin 100-200 m arasında değişim gösteren ikinci ağı oluşturmaktadır. Bunun dışında eski heyelan kütleleri üzerine 4 ve taç kısmına ise 2 tane GNSS noktası belirlemiştirler. İki tane nokta ise heyelan sahası dışında sabit nokta olarak belirlemiştirler. Sabit noktalardan ilki IKYK isimli TUTGA noktası diğeri sabit nokta ise TKYK isimli nokta olarak planlamışlardır (Şekil 3.28). Tez kapsamında çalışma alanı sınırları olarak belirlenen ve tesis edilen GNSS noktalarından tahrip edilenler dışında 51 tane GNSS noktası Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.28 Tesis edilen GNSS noktaları (Hastaoglu vd., 2015).



Şekil 3.29 Heyelan sahasına tesis edilen GNSS noktaları (51 adet).

Hastaoglu vd., (2015), deformasyon miktarının belirlenebilmesi için bölgede yapılan önceki çalışmaları inceleyerek heyelanın ana nedenini araştırmışlardır. Bu doğrultuda deformasyonun ana sebebinin yeraltı suyu seviyesindeki değişimler olduğunu belirterek ölçüm tarihlerini bu değişimler doğrultusunda belirlemişlerdir. Proje kapsamında 10 Periyot GNSS ölçüsü gerçekleştirilerek saha çalışmalarında toplam 9 tane GNSS aleti kullanılmıştır. Sabit noktalar olan TKYK ve IKYK noktaları için gün boyunca 12 saatlik gözlem gerçekleştirilmiştir. Diğer mevcut noktalarda ise birer saat GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler üç gün tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçümlerinin değerlendirilmesinin ilk aşamasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümüne ait Akademik GNSS değerlendirme yazılımı olan BERNESE 5.2 kullanılmıştır. İkinci aşamada ise çalışmada sahasında bulunan GNSS noktaları için 10 periyotluk GNSS ölçüsü LEICA Geo Office yazılımı kullanarak değerlendirmişlerdir ve koordinat değerleri elde etmişlerdir. Bu koordinat değerlerini kullanılarak 3 Boyutlu Kinematik Kalman Filtreleme Modeli yardımı ile GNSS noktalarına ait hız ve ivme değerlerini kestirmişlerdir (Çizelge 3.13). Elde edilen değerlere göre heyelanın taç kısmının kuzeyinde kalan ve OH01 ve OH02 nolu noktalarında içinde bulunduğu bölgede anlamlı bir hareket gözlenmezken, OH03 ve OH04 nolu noktalarda ortalama yıllık -2 cm'ye yakın bir çökme, OH05 nolu nokta civarında ise yaklaşık yıllık 1,3 cm'lik bir yükselmeye dönüşmektedir. Bu yükselme OH12 ve DH03 nolu noktalarında içerisine alan bölgede artarak yaklaşık yıllık 2 cm olarak devam etmekte ve sonlanmaktadır. Bunun yanı sıra DH01 ve OH13 nolu noktalarda da tamamen birbirleri ile zıt yönlü ve hemen hemen aynı büyüklükte yaklaşık 3 cm lik bir topoğrafik eğim doğrultusunda bir harekette gözlendiğini belirtmişlerdir. Şekil 3.30 incelendiğinde bölgede bulunan binalardaki oluşan deformasyonlar gözlenmektedir. Emniyet müdürlüğü binası (Şekil 3.30, f) ve civarında oluşan lokal kaymalar neticesinde binalardaki deformasyonlar açıkça gözlenmektedir.

Hastaoglu vd., (2015) çalışması kapsamında elde edilmiş GNSS ölçümlerine ait vektör hız değerleri kullanılarak, kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için, ArcGIS yazılımında enterpolasyon yöntemine göre haritalar üretilmiştir.

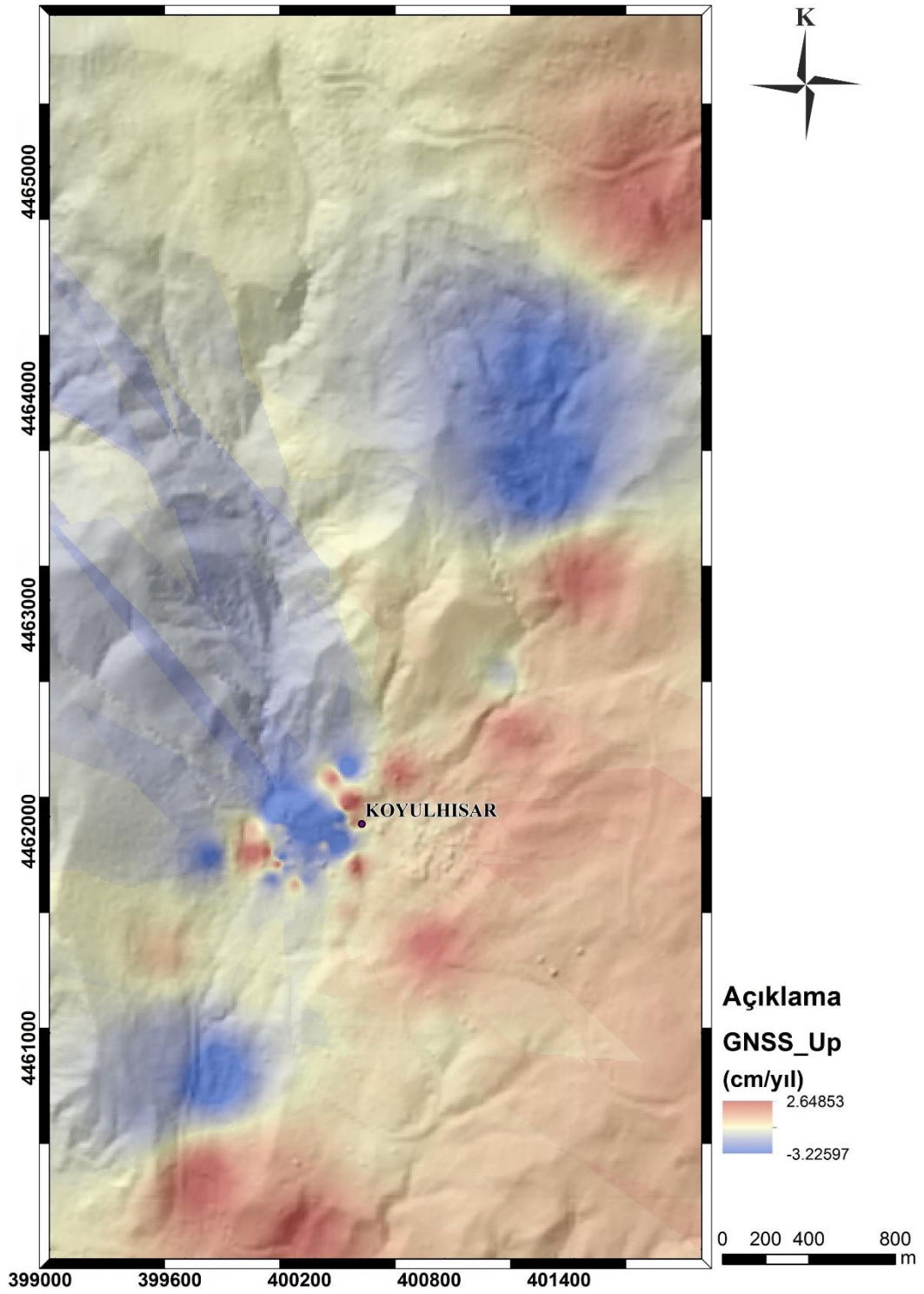
Çizelge 3.13 GNSS noktalarına ait yıllık hız değerleri (Hastaoglu vd., 2015)

NN	Hız Değeri (cm/ yıl)			Hız Değeri Std. Sapma (cm/yıl)			Hız Değeri Test Değeri (t=1.65)		
	vn	ve	vup	sn	se	sup	Tn	Te	Tup
DH01	-2.2	1.4	1.5	0.6	0.5	0.6	3.8	2.7	2.7
DH03	-0.4	0.5	2.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.8	4.2
DH04	1.2	0.6	-1.9	0.6	0.5	0.6	2.1	1.3	3.4
DH05	-1	-0.1	1.5	1.4	1.3	1.4	0.7	0.1	1.1
DH06	-1.7	0.2	-0.4	0.6	0.5	0.5	3.1	0.3	0.8
DH07	-0.7	0.1	0.2	0.8	0.7	0.8	0.9	0.2	0.3
DH08	0.3	-0.3	-3.6	0.6	0.5	0.6	0.4	0.6	6
DH09	-0.8	-1.3	-1.8	0.6	0.5	0.6	1.4	2.5	3.2
DH10	-1.6	0.1	-2.9	0.6	0.5	0.6	2.8	0.2	5.2
DH11	-1.1	0.1	-2.2	0.6	0.5	0.6	1.8	0.3	3.8
DH12	-2.2	-0.7	-0.1	0.6	0.6	0.6	3.4	1.3	0.1
DH13	0.8	0	-0.6	0.6	0.5	0.6	1.4	0	1
DH14	-0.1	0.5	0.7	0.7	0.6	0.7	0.2	0.8	1.1
DH15	-0.1	-0.2	1.7	0.8	0.7	0.8	0.1	0.3	2.2
DH16	0	0.8	0.1	0.6	0.5	0.6	0	1.6	0.1
DH17	0.3	0.3	1	0.7	0.6	0.6	0.4	0.5	1.6
DH18	-0.2	-0.2	1.3	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	2.1
DH19	0.3	-0.1	-0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.2	0.7
DH20	-2.6	-2.2	-1.9	0.5	0.5	0.5	4.7	4.6	3.6
DH21	-3.7	-1.2	-0.6	0.5	0.5	0.5	6.9	2.6	1.1
DH22	-0.5	-0.2	2	0.5	0.4	0.4	1	0.6	4.6
DH24	-0.3	0.4	-0.8	0.6	0.5	0.5	0.6	0.9	1.4
DH25	-1.8	-0.8	1.7	0.6	0.5	0.5	3.2	1.6	3.2
DH26	0.2	-0.2	2.7	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	3.2
DH27	-0.4	-0.3	1	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	1.7
DH28	-1.1	0.5	-0.8	0.6	0.5	0.6	2	0.9	1.4
DH29	0.7	2.4	1.2	0.6	0.5	0.5	1.2	4.7	2.1
OH01	0.2	0.1	-0.4	0.7	0.6	0.6	0.4	0.2	0.7
OH02	-0.6	0.1	0.9	0.5	0.4	0.5	1.3	0.1	1.9
OH03	-0.2	0.4	-1.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.8	2.5
OH04	-0.4	0.5	-2.2	0.5	0.4	0.5	0.8	1.1	4.5
OH05	0	0.2	1.3	0.5	0.5	0.5	0.1	0.3	2.5
OH06	-0.6	-0.3	0	0.5	0.5	0.5	1.2	0.6	0
OH07	-0.5	0	-0.2	0.5	0.5	0.5	0.9	0	0.5
OH08	-0.4	-0.5	1.1	0.5	0.5	0.5	0.7	1.1	2.2
OH10	0	0.2	0.7	0.7	0.6	0.7	0	0.3	1.1
OH12	-0.4	0.2	1.8	1.1	1	1.1	0.3	0.2	1.8
OH13	2	-1.4	-2.1	0.5	0.5	0.5	3.7	2.9	3.9
OH15	0	-0.1	0.3	0.5	0.4	0.5	0	0.3	0.6
OH16	1.9	-5.4	2	0.5	0.5	0.5	3.6	11.5	3.9
OH17	-0.1	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.2	0.8	0.7
OH19	-0.5	0	0	1	0.8	0.9	0.6	0	0
OH20	-0.1	0.1	0.8	0.6	0.5	0.5	0.2	0.2	1.4
OH21	-0.3	0	0.9	0.6	0.5	0.5	0.5	0.1	1.7
OH22	0.2	0	0.4	1	0.9	1	0.3	0	0.4
OH23	0	0	-1.7	0.5	0.5	0.5	0.1	0	3.2
OH24	0	0.4	-0.7	0.6	0.5	0.6	0.1	0.7	1.2
OH25	0.4	0.3	2	0.7	0.6	0.7	0.5	0.5	2.8
OH26	-1.4	-0.2	2.4	0.8	0.7	0.8	1.7	0.3	2.9
OH27	0	0.1	0.2	0.7	0.6	0.6	0	0.2	0.3
OH29	0.3	0.5	-1.6	0.6	0.5	0.6	0.4	0.8	2.6

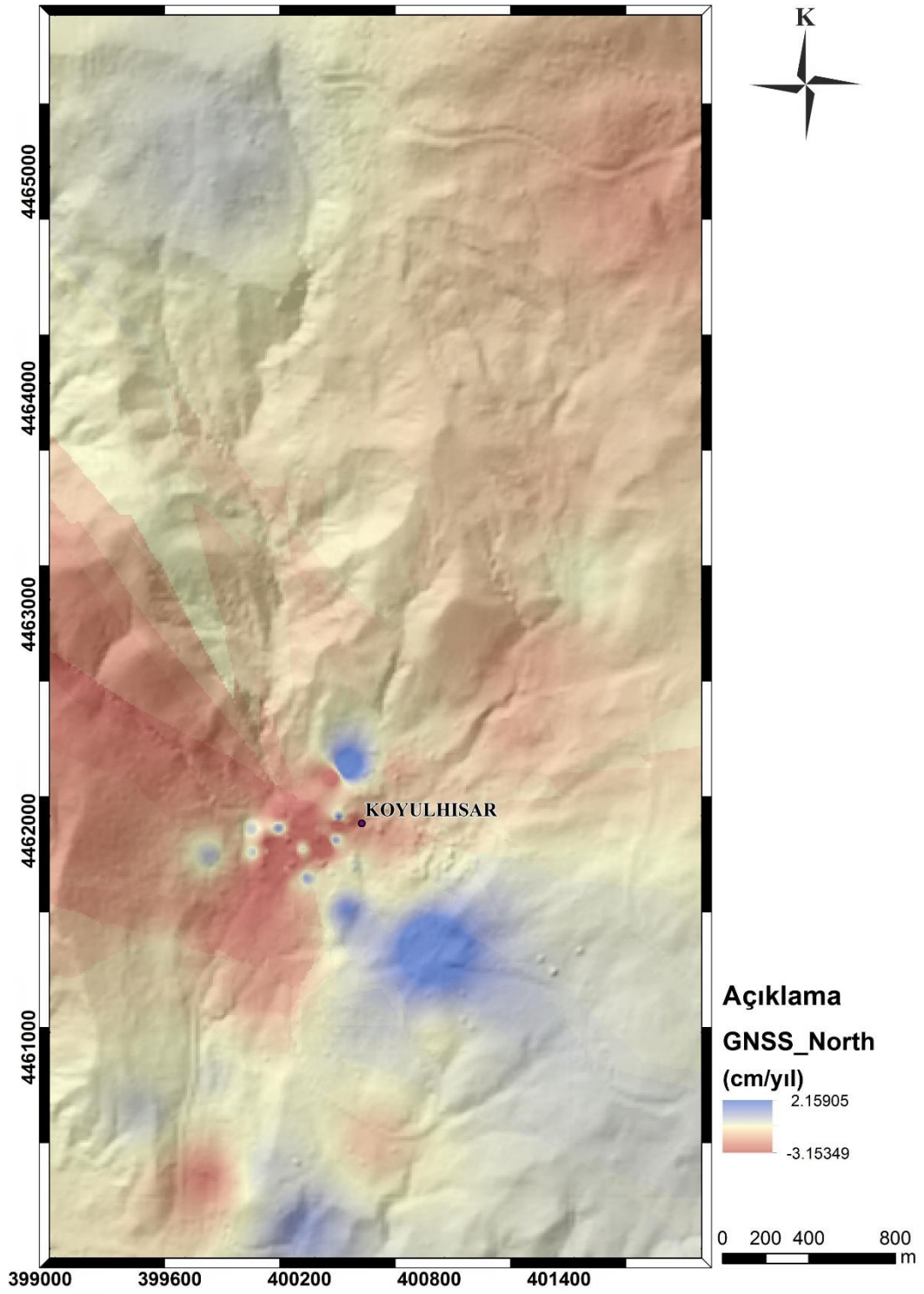


Şekil 3.30 Binalarda meydana gelen deformasyonlar (Hastaoglu vd., 2015).

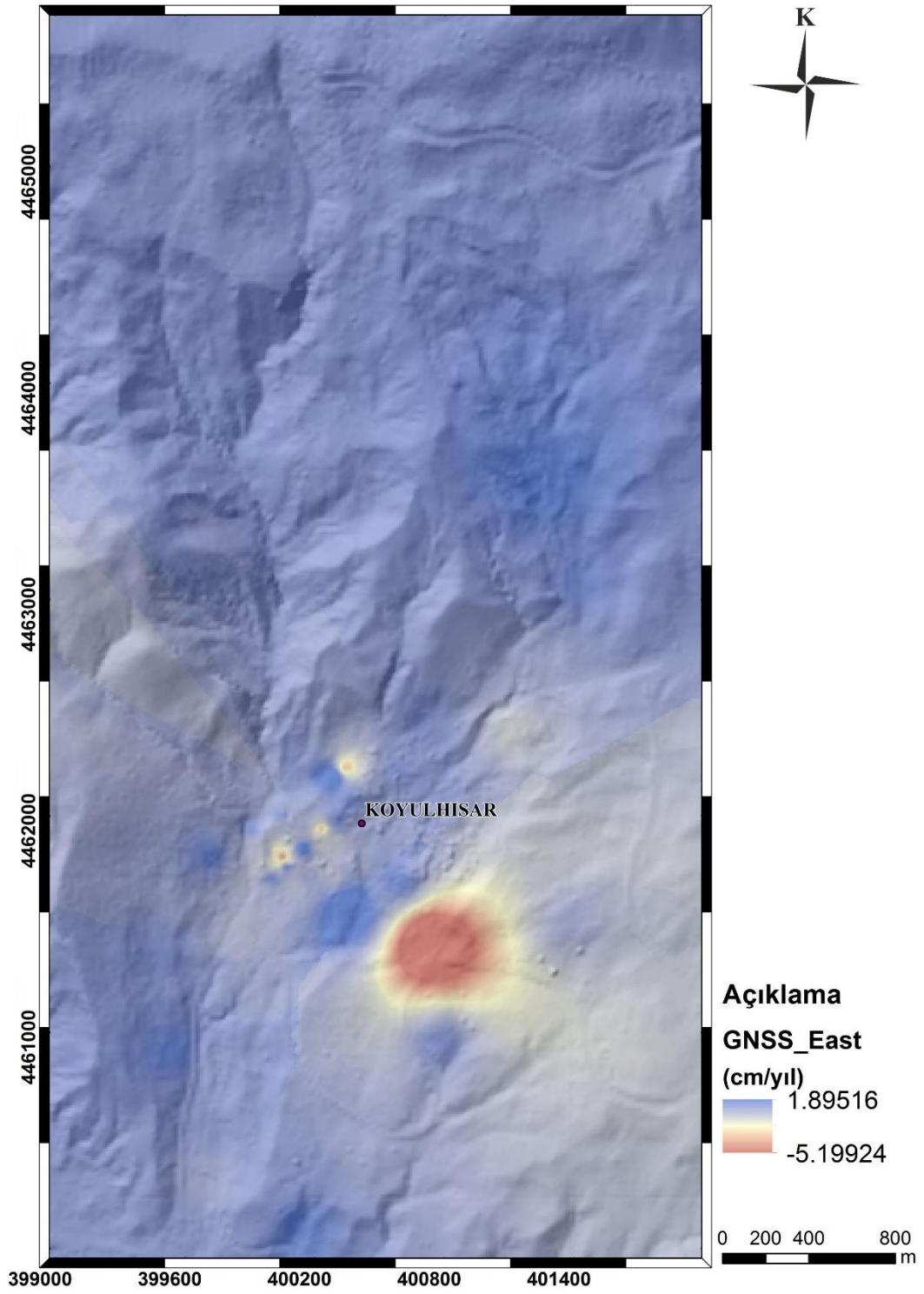
Yapılan çalışmalarda sahanın her bir noktasına ait veri derlemek zor ve yüksek maliyetli olabilmektedir. Enterpolasyon yöntemi, çalışma alanından önemli noktalar seçilerek geri kalan noktaların değerlerini tahmin eden algoritmaya dayanmaktadır. GNSS noktalarından elde edilen hız değerleri nokta sayısının daha az olması sebebiyle Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. GNSS değerlerinin yükseklik bileşeni (Şekil 3.31), kuzey bileşeni (Şekil 3.32) ve doğu bileşeni (Şekil 3.33) için haritalar oluşturulmuştur. GNSS noktalarından elde edilen haritaları karşılaştırıp tek bir harita üretmek amacıyla Çizelge 3.13’de verilen anlamlılık değerleri de dikkate alınarak GNSS verisi (kuzey, doğu ve yükseklik haritaları) alt sınıfları için ± 1 cm aralıklarla 1 ile 5 arasında değişen çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek anlamlılık sınıfları (1= çok düşük, 5= çok yüksek) değerleri verilerek yeniden sınıflandırma yapılmış ve eşit ağırlıklı karşılaştırılarak tek bir GNSS haritası elde edilmiştir (Şekil 3.34).



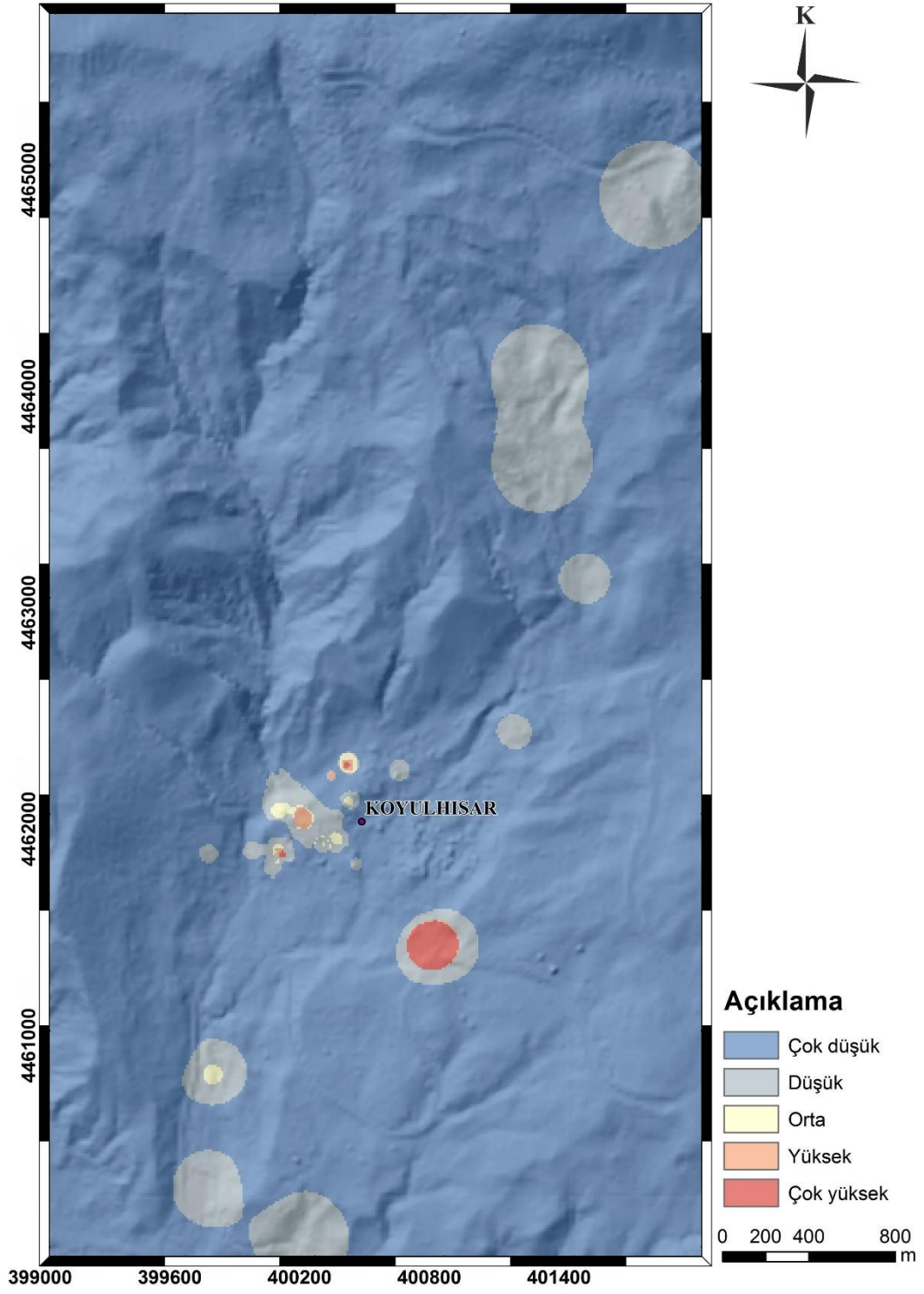
Şekil 3.31 GNSS noktalarından enterpole ile oluşturulan yükseklik bileşenine ait harita.



Şekil 3.32 GNSS noktalarından enterpole ile oluşturulan kuzey bileşenine ait harita.



Şekil 3.33 GNSS noktalarından enterpole ile oluşturulan doğu bileşenine ait harita.



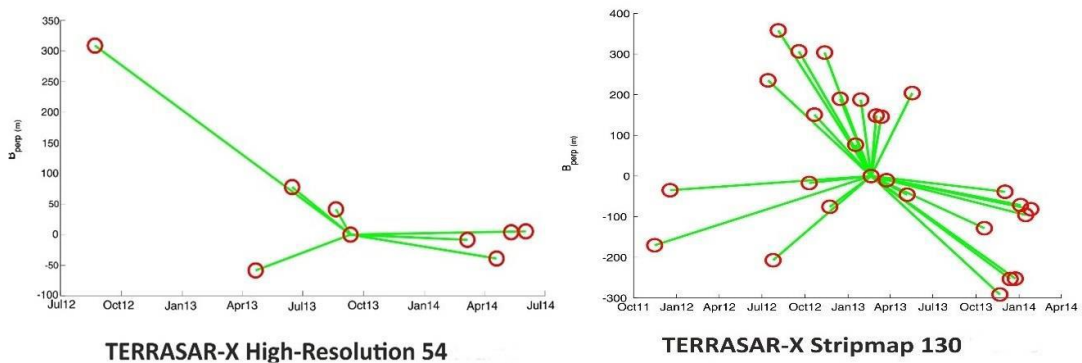
Şekil 3.34 GNSS (kuzey, doğu ve yükseklik) haritalarının bileşimiyle oluşturulan harita.

3.6.2 PSInSAR

Doğal ya da yapay meydana gelen yüzey değişimlerinin izlenmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Son dönemlerde yeryuvarının incelenmesi uzaktan algılama yöntemleri ile etkin bir ilerleme sağlamıştır. Bu uzaktan algılama yöntemlerinden biri de InSAR yöntemidir. SAR veya InSAR tekniği uydular üzerinde mevcut olan radar platformları ile zaman serisi olarak elde edilen verilerin analiz edilmesi olarak genel bir tanımlama yapılabilir. Bu sayede oluşabilecek alansal deformasyonların miktarı mm-cm/yıl hassasiyetinde ölçülebilmektedir (Çomut, 2016).

InSAR yöntemi yer yüzeyindeki günlük veya yıllık değişimlerin mm duyarlılığında gözlemlenebildiği modern bir jeodezi ölçme tekniğidir (Gens ve Van Genderen, 1996; Abdikan, 2013).

Hastaoglu vd., (2015), yaptıkları TÜBİTAK proje kapsamında alana ait kayma miktarını belirlemek amacıyla SAR görüntülerini analiz ederek 2011 yılından itibaren TerraSAR-X uydularından sağlanabileceğini ve bu kapsamda Alman Uzay Ajansından güncel ve yüksek çözünürlüklü TerraSAR-X görüntülerini temin etmek amacıyla “Monitoring of Landslides on east part of North Antolia Fault Zone (Kelkit Valley) using PSInSAR method with TerraSAR-X data” isimli proje ile başvuru yaparak TerraSAR-X görüntülerini elde etmişlerdir. Alana ait görüntüler high resolution 54 iz numaralı ve stripmap 130 iz numaralı görüntüleri olmak üzere farklı çözünürlüğe sahip 2 tane alçalan uydudan temin etmişlerdir. Şekilde 3.35’de verilen tarihlerde bu uydulara ait verileri değerlendirmişlerdir.



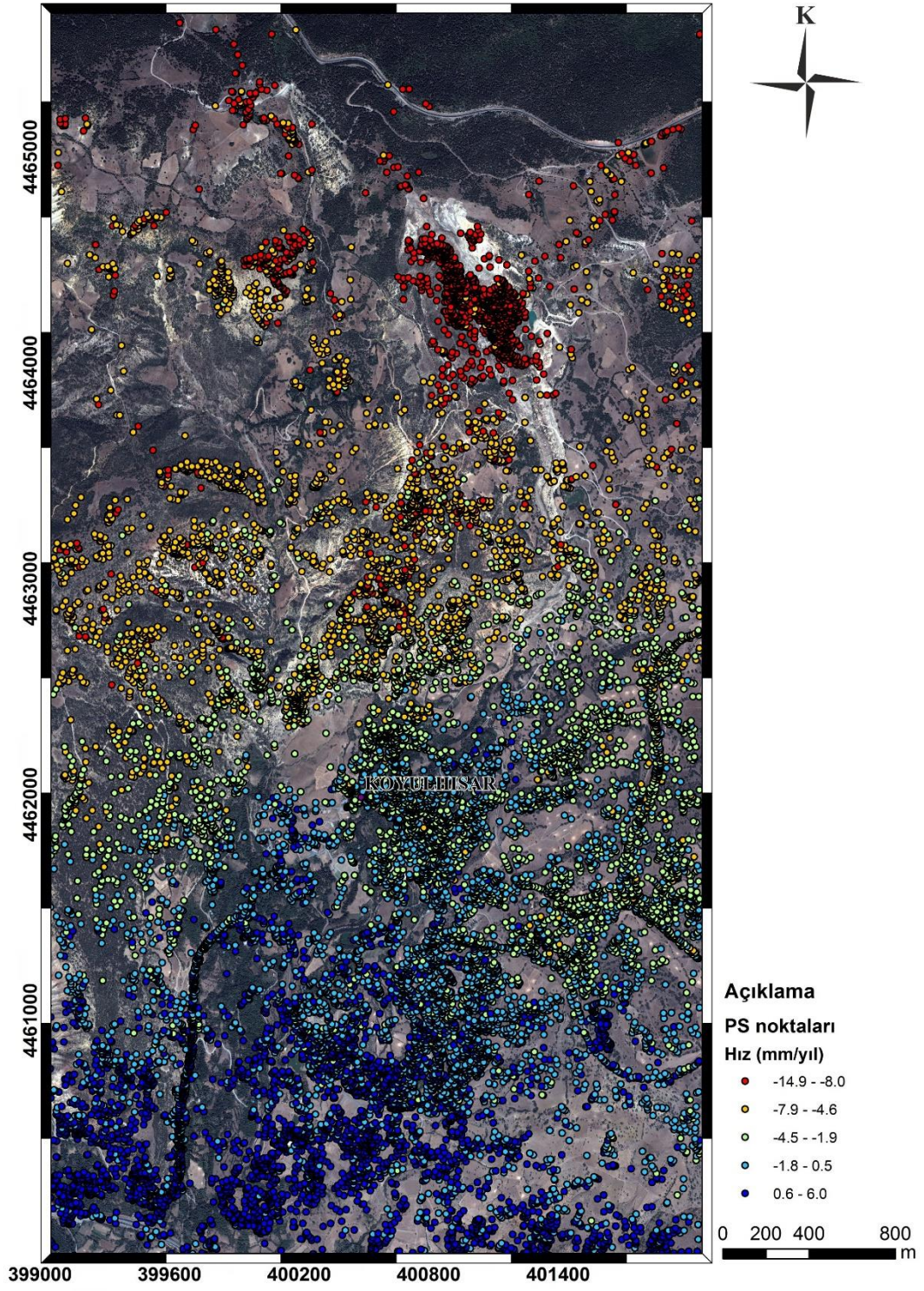
Şekil 3.35 StaMPS yazılımı ile değerlendirilen TerraSAR görüntüleri ve seçilen master görüntüden tarih ve baz mesafesi farkları (Hastaoglu vd., 2015).

Değerlendirme aşamasında ise STAMPS programını kullanmışlardır. High resolution 54 iz numaralı uydu görüntüsü heyelan sahasının taç kısmını kapsamadığından dolayı PS noktaları üretilmemiştir. PS sonuçlarının hız değerlerinin küçük olmasını ise bölgeye bağlı olarak yapılması ve sonuçların bağıl olarak üretilmesi yani PSInSAR ile heyelan hareketinin büyüklüğünden çok eğilimi ve yönü hakkında daha doğru bilgi sağladığını belirtmişlerdir.

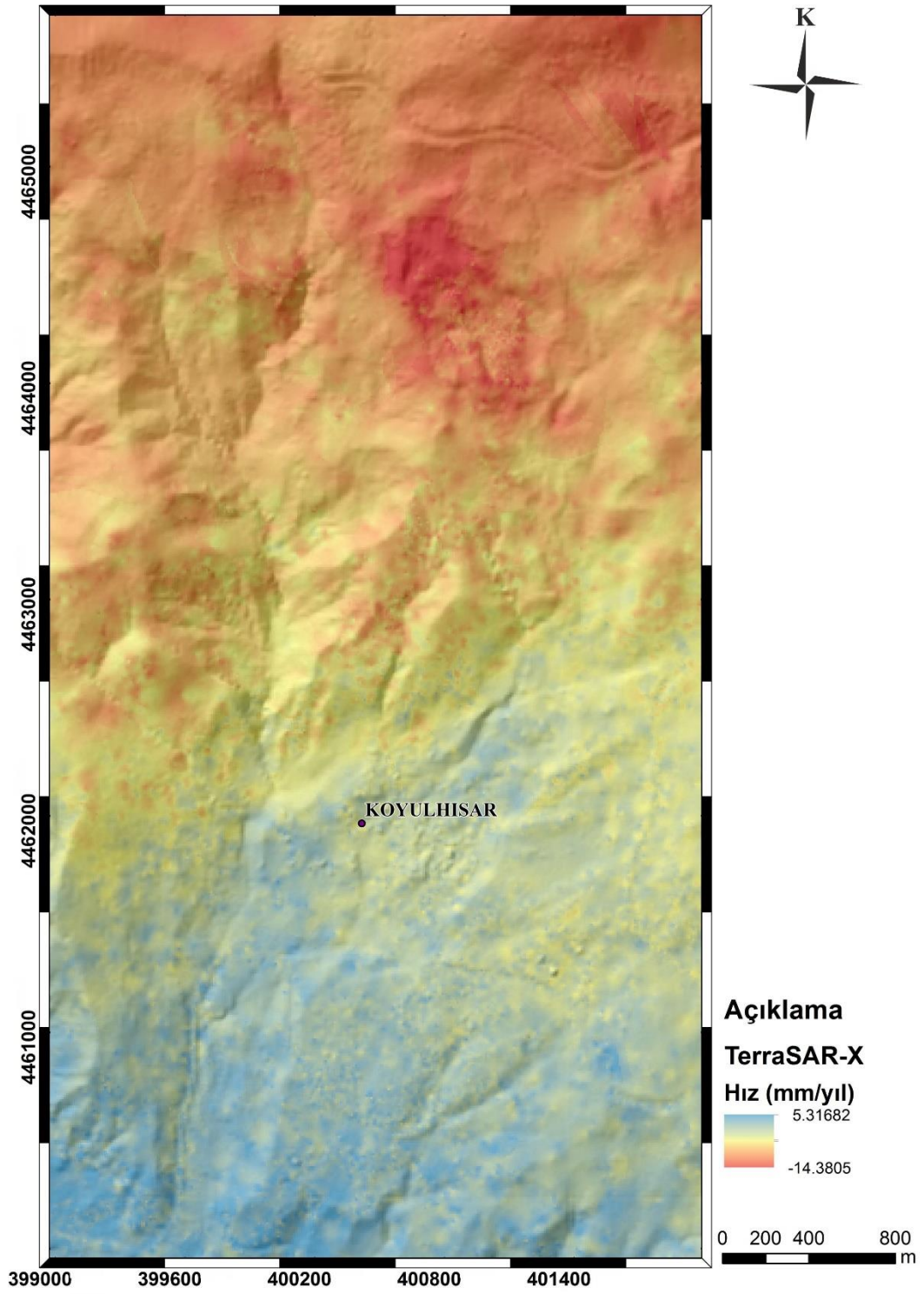
Şekil 3.36' da değerlendirme sonucu elde edilen PS noktalarının tez kapsamında çalışma alanına göre kesilmiş ve bu noktalara ait hız değerleri uydu görüntüsü üzerine çakıştırılmış olarak verilmiştir. Daha sonra PS noktalarından elde edilen hız değerlerinden Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulan harita Şekil 3.37'de verilmiştir.

PS noktalarından elde edilen enterpole harita için alt sınıflar, PS noktalarından elde edilen hız değerlerinin yaklaşık ± 10 mm arasında değiştiği göz önünde bulundurularak bu ± 10 mm değişimin diğer veri setleriyle uyumlu olması açısından 5 sınıfa ayrılmış olup ± 2 mm aralıklarla sınıflandırılmıştır. Tek bir GNSS-PS haritası oluşturmak için ise PS (%50 ağırlık değeri) ve GNSS (% 50 ağırlık değeri) haritalarına eşit ağırlık atanarak (PS haritası için % 50 ağırlık, GNSS kuzey= % 16,6, GNSS yükseklik= % 16,6, GNSS doğu= % 16,6) Şekil 3.38'de verilen harita elde edilmiştir.

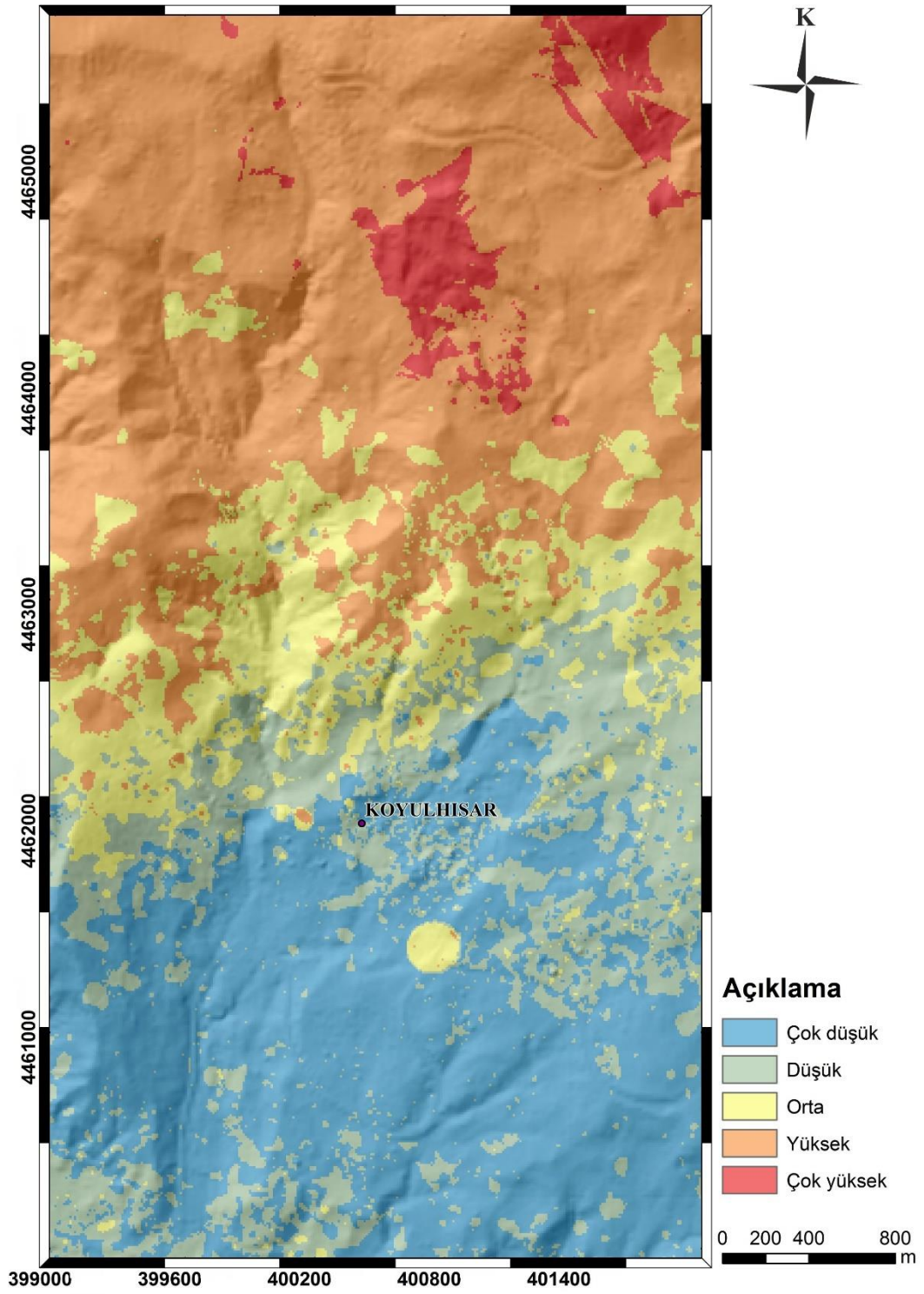
Bunun yanı sıra oluşturulan duyarlılık haritalarının yanı sıra doğrulama aşamasında kullanılmak üzere heyelan alanları ve TerraSAR-X-GNSS haritası eşit ağırlıklı çakıştırılarak elde edilen harita şekilde 3.39'da verilmiştir.



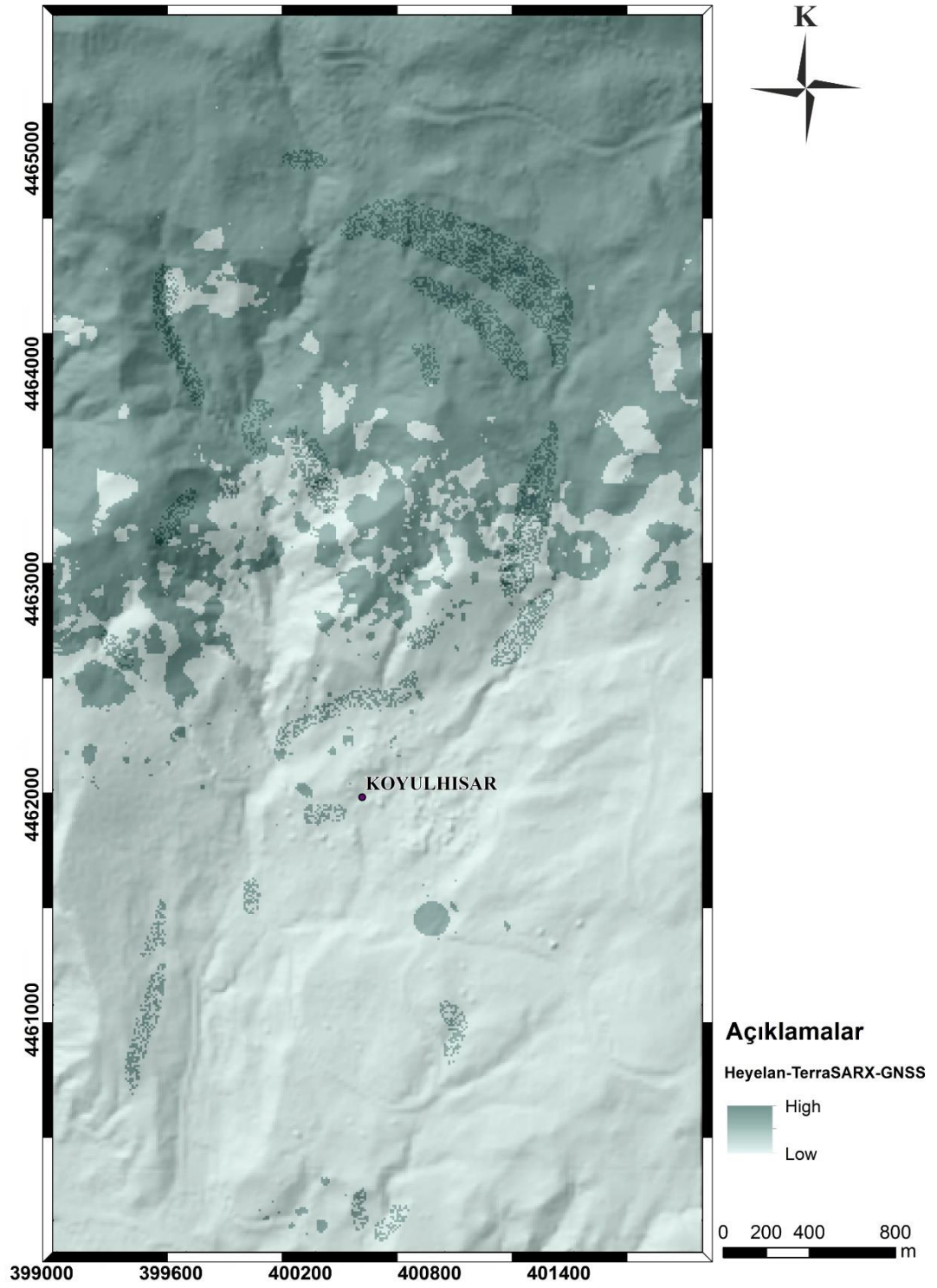
Şekil 3.36 TerraSAR-X Stripmap 130 iz numaralı uyduya ait değerlendirme sonucu elde edilen PS noktaları ve bu noktalara ait hız değerleri.



Şekil 3.37 PS noktalarından elde edilen enterpole harita.



Şekil 3.38 TerraSAR-X & GNSS haritası.



Şekil 3.39 Çalışma alanına ait heyelan & TerraSAR-X & GNSS haritası.

3.7 AHP Yöntemiyle Verilere Ait Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlıklar

Heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan ölçütler ve farklı ikili karşılaştırma matrisleri (Çizelge 3.14, Çizelge 3.16, Çizelge 3.17)' de verilmiştir. İkili karşılaştırma matrisi, uzman görüşünün devreye girdiği aşama olduğundan dolayı, Sendir ve Yılmaz (2001) ve Hastaoglu vd.'de (2015) belirtildiği gibi çalışma alanında yer alan kayaların litolojik yapısı ve faylanmaya bağlı olarak kayaların kırık, çatlak gibi süreksizler içermesi, yağış ve eğimin heyelanların oluşmasında önemli bir etken olduğu belirtildiğinden dolayı puanlama kısmında bu görüşler dikkate alınarak ve faktörlerin ağırlıkları literatür araştırmaları (Yalçın, 2007; Reis vd., 2009; Akgun vd., 2012; Çellek vd., 2013; Feizizadeh vd., 2013; Özşahin, 2014) doğrultusunda belirlenerek farklı ağırlık değerlerine sahip üç adet heyelan duyarlılık modeli üretilmiştir (Şekil 3.40, Şekil 3.41, Şekil 3.42).

Çizelge 3.14 Verilere ait ikili karşılaştırma matrisi (AHP_1)

Veriler AHP_1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(1) Eğim (°)	1	8	2	3	6	3	7	5	4	7	3
(2) Bakı	1/8	1	1/7	1/6	1/3	1/7	1/2	1/4	1/5	1/2	1/5
(3) Litoloji	1/2	7	1	2	5	2	6	4	3	6	2
(4) TWI	1/3	6	1/2	1	4	1/3	5	3	2	5	2
(5) NDVI	1/6	3	1/5	1/4	1	1/5	2	1/2	1/3	2	1/3
(6) Faylardan Uzaklık	1/3	7	1/2	3	5	1	6	4	3	6	3
(7) Plan Eğriselliği	1/7	2	1/6	1/5	1/2	1/6	1	1/3	1/4	1	1/4
(8) LS	1/5	4	1/4	1/3	2	1/4	3	1	1/2	3	1/2
(9) Yükseklik	1/4	5	1/3	1/2	3	1/3	4	2	1	4	1/2
(10) Profil Eğriselliği	1/7	2	1/6	1/5	1/2	1/6	1	1/3	1/4	1	1/4
(11) SPI	1/3	5	1/2	1/2	3	1/3	4	2	2	4	1

1) Eğim (°), 2) Bakı, 3) Litoloji, 4) TWI(Topografik nemlilik indeksi), 5) NDVI (Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi), 6) Faylardan Uzaklık, 7) Plan Eğriselliği, 8) LS (Sediman taşıma kapasitesi indeksi), 9) Yükseklik, (10) Profil Eğriselliği, (11) SPI (Akarsu gücü indeksi)

Sadece çizelge 3.14'de verilen AHP_1 karşılaştırma matrisine ait hesaplama adımları gösterilerek Çizelge 3.15'de karşılaştırma matrisine ait normalize edilmiş değerler ve hesaplanan ağırlık değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.15 İkili karşılaştırma matrisine ait normalize edilmiş matris değerleri ve ağırlık değerleri

Veriler	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	Ağırlık Değeri
AHP_1												
(1)	0,28	0,16	0,35	0,27	0,20	0,38	0,18	0,22	0,24	0,18	0,23	0,24
(2)	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
(3)	0,14	0,14	0,17	0,18	0,16	0,25	0,15	0,18	0,18	0,15	0,15	0,17
(4)	0,09	0,12	0,09	0,09	0,13	0,04	0,13	0,13	0,12	0,13	0,15	0,11
(5)	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,02	0,05	0,03	0,04
(6)	0,09	0,14	0,09	0,27	0,16	0,13	0,15	0,18	0,18	0,15	0,23	0,16
(7)	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03
(8)	0,06	0,08	0,04	0,03	0,07	0,03	0,08	0,04	0,03	0,08	0,04	0,05
(9)	0,07	0,1	0,06	0,04	0,10	0,04	0,10	0,09	0,06	0,10	0,04	0,07
(10)	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03
(11)	0,09	0,1	0,09	0,04	0,10	0,04	0,10	0,09	0,12	0,10	0,08	0,09
Toplam	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

İkili Karşılaştırma Matrisi

Ağırlık değerleri

$$\begin{bmatrix} 1 & 8 & 2 & 3 & 6 & 3 & 7 & 5 & 4 & 7 & 3 \\ 1/8 & 1 & 1/7 & 1/6 & 1/3 & 1/7 & 1/2 & 1/4 & 1/5 & 1/2 & 1/5 \\ 1/2 & 7 & 1 & 2 & 5 & 2 & 6 & 4 & 3 & 6 & 2 \\ 1/3 & 6 & 1/2 & 1 & 4 & 1/3 & 5 & 3 & 2 & 5 & 2 \\ 1/6 & 3 & 1/5 & 1/4 & 1 & 1/5 & 2 & 1/2 & 1/3 & 2 & 1/3 \\ 1/3 & 7 & 1/2 & 3 & 5 & 1 & 6 & 4 & 3 & 6 & 3 \\ 1/7 & 2 & 1/6 & 1/5 & 1/2 & 1/6 & 1 & 1/3 & 1/4 & 1 & 1/4 \\ 1/5 & 4 & 1/4 & 1/3 & 2 & 1/4 & 3 & 1 & 1/2 & 3 & 1/2 \\ 1/4 & 5 & 1/3 & 1/2 & 3 & 1/3 & 4 & 2 & 1 & 4 & 1/2 \\ 1/7 & 2 & 1/6 & 1/5 & 1/2 & 1/6 & 1 & 1/3 & 1/4 & 1 & 1/4 \\ 1/3 & 5 & 1/2 & 1/2 & 3 & 1/3 & 4 & 2 & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,24 \\ 0,02 \\ 0,17 \\ 0,11 \\ 0,04 \\ 0,16 \\ 0,03 \\ 0,05 \\ 0,07 \\ 0,03 \\ 0,09 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,0100 \\ 0,2033 \\ 2,200 \\ 1,3783 \\ 0,4318 \\ 2,0350 \\ 0,2880 \\ 0,6372 \\ 0,9000 \\ 0,2880 \\ 1,0633 \end{bmatrix}$$

İkili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerlerinin çarpımı sonrası elde edilen matris değeri, ağırlık değerine bölünür ve bu değerlerin ortalaması alınarak λ değeri bulunur. [2.11] ve [2.12] formülüne göre Tutarlılık Oranının hesaplanması için; 11 faktör sayısına karşılık gelen Rastgele Değer İndeksi 1,51 formülde yerine yazılarak Tutarlılık Oranı değeri elde edilir.

$$\lambda = 11,6$$

Tutarlılık Oranı= 0,04

Son aşamada ise AHP yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması aşamasında aşağıda verilen formül kullanılarak sonuç haritaları elde edilir (Chen vd., 2017).

$$LSI = \sum_{i=1}^n w_i \times u_i \quad [3.5]$$

Burada:

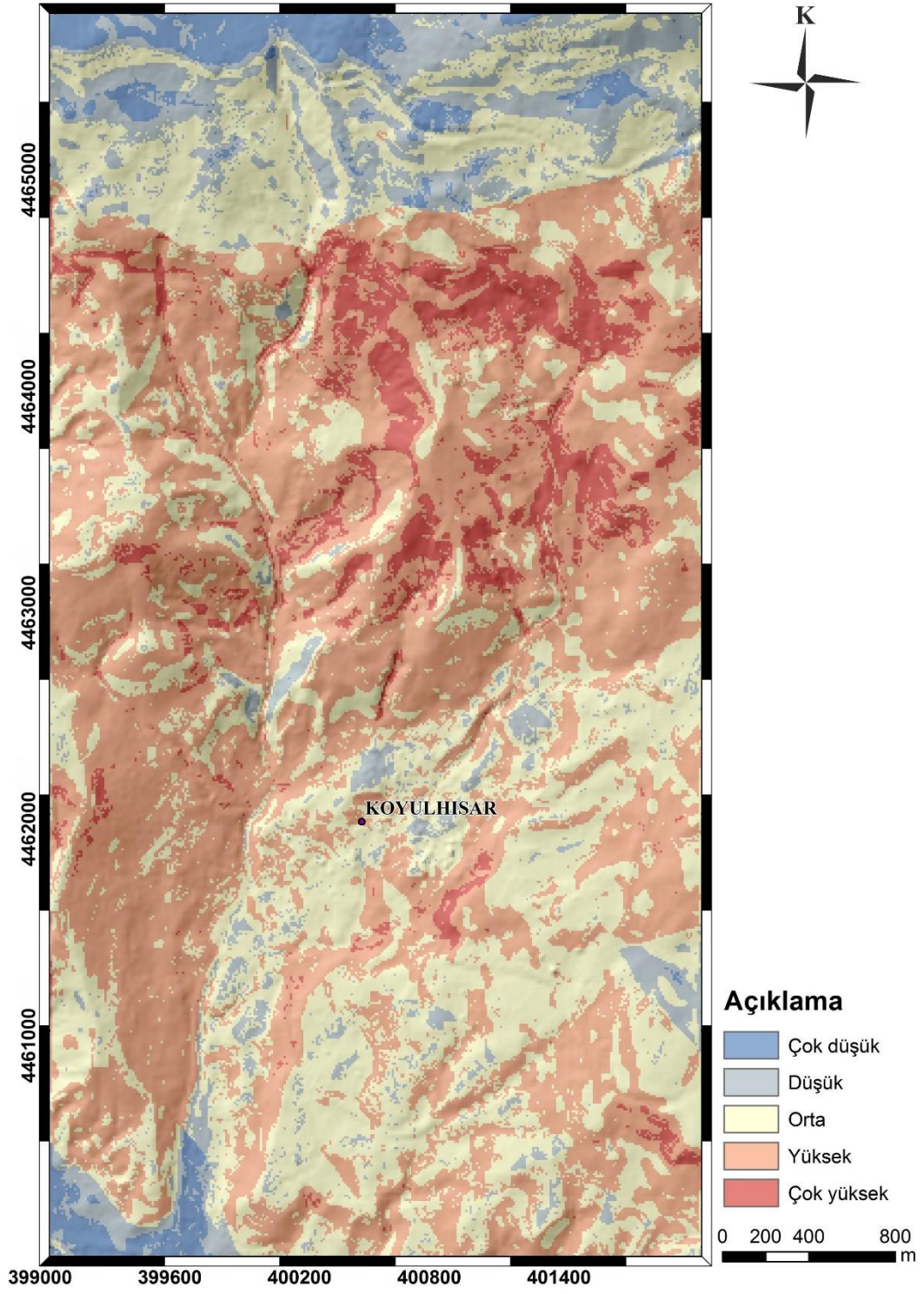
LSI: Heyelan duyarlılık indeksi

w_i : i ölçütünün ağırlığı

u_i : Ölçüt i'nin alt sınıf puanlamasıdır.

Burada yapılan hesaplama, Çok Ölçütlü Değerlendirme' de (Eastman vd., 1995; Dai vd., 2001) tarafından Lineer Ağırlık Kombinasyonu (Weighted Lineer Combination-WLC) olarak tanımlanan faktörlerin ağırlıkları ile alt ölçüt ağırlıklarının çarpımının toplamı işlemidir (Yalçın, 2007).

Yukarıda verilen formüle göre her bir veriye ait alt sınıf puanları ve AHP sonucu belirlenen ağırlık değerleri piksellere atanarak çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Üretilen haritalar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır.



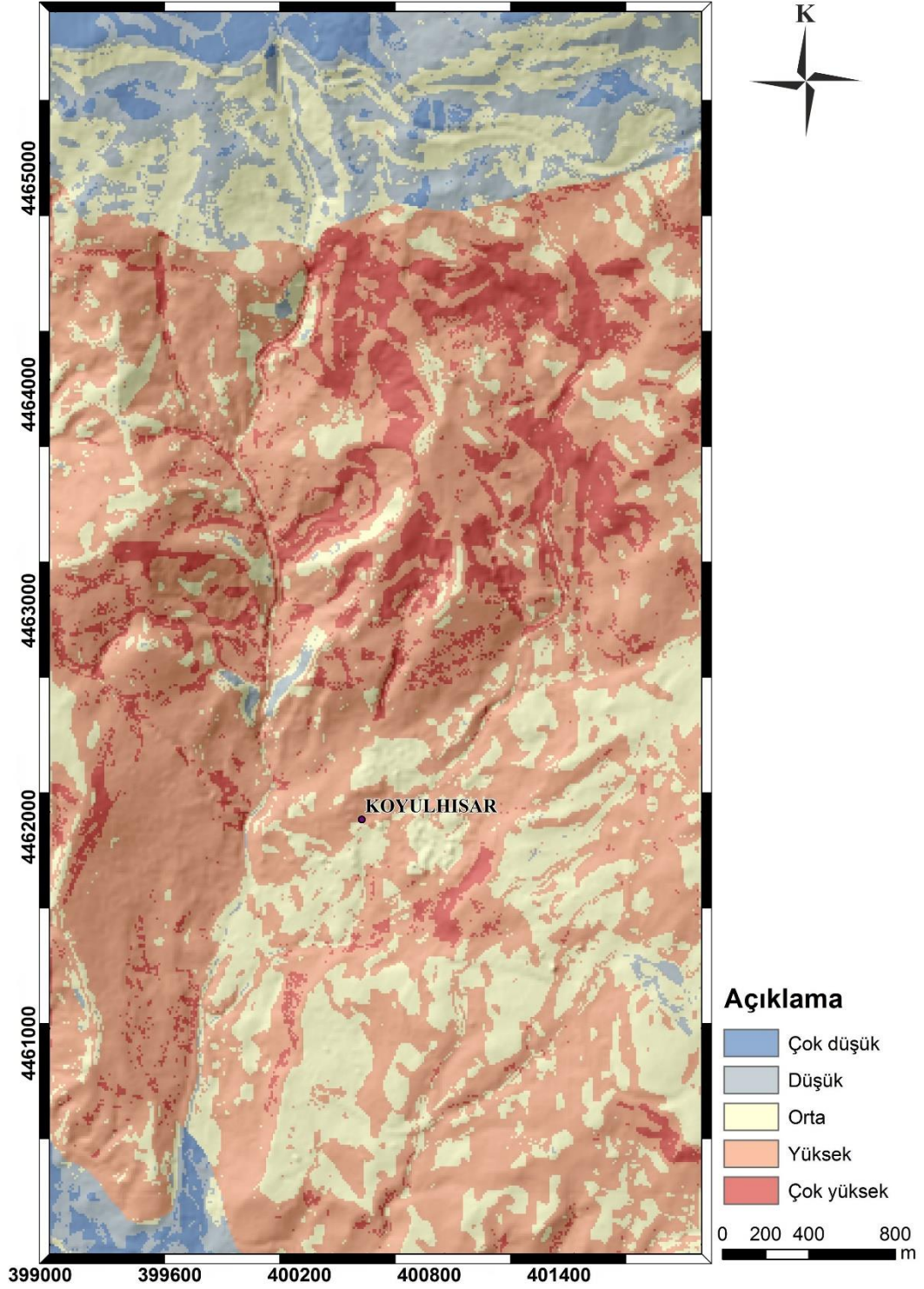
Şekil 3.40 AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası (AHP_1).

Çizelge 3.16 Verilere ait ikili karşılaştırma matrisi (AHP_2)

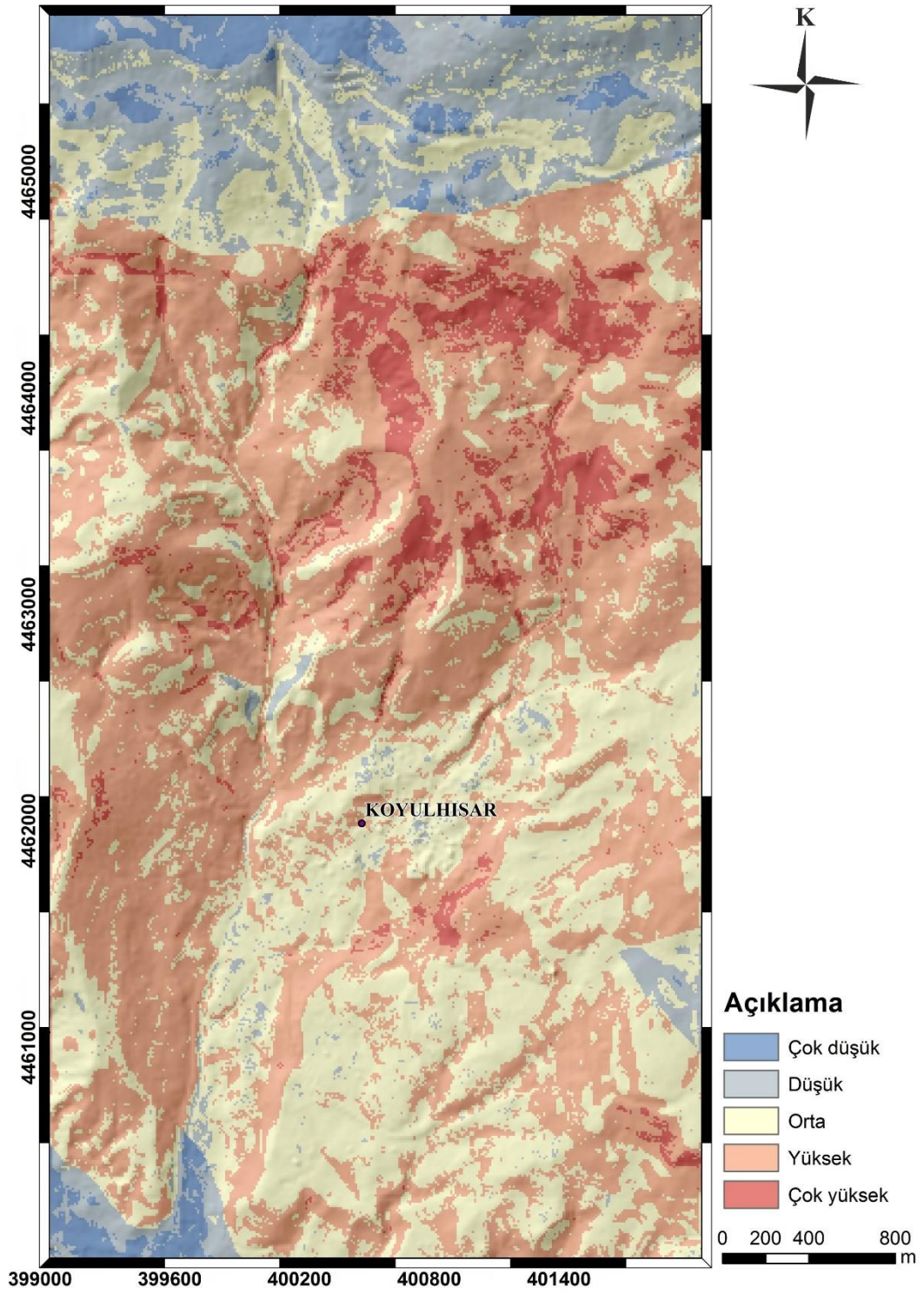
Veriler AHP_2	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	Ağırlıklar
(1) Eğim (°)	1	7	1	3	7	4	8	5	6	8	5	23,8
(2) Bakı		1	1/7	1/6	1/3	1/5	3	1/4	1/4	3	1/4	2,3
(3) Litoloji			1	3	7	4	8	5	6	8	5	23,8
(4) TWI				1	6	3	7	4	5	7	4	15,7
(5) NDVI					1	1/5	4	1/4	1/3	4	1/4	3,1
(6) Faylardan uzaklık						1	6	3	4	6	3	10,6
(7) Plan Eğriselliği							1	1/5	1/5	1	1/5	1,5
(8) LS								1	3	5	1/2	6,2
(9) Yükseklik									1	5	1/3	4,5
(10) Profil Eğriselliği										1	1/5	1,5
(11) SPI											1	7,0
Tutarlılık oranı: 0,08												

Çizelge 3.17 Verilere ait ikili karşılaştırma matrisi (AHP_3)

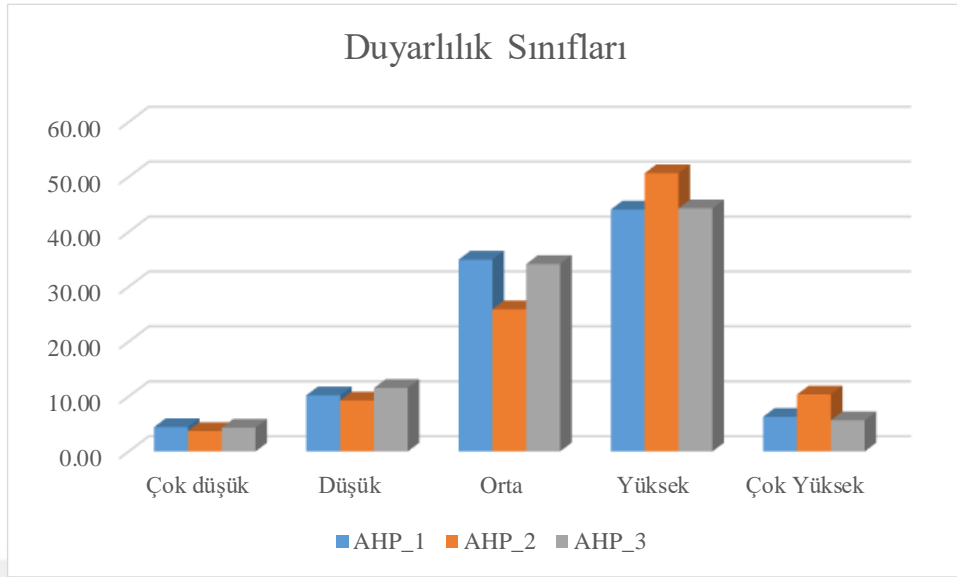
Veriler AHP_3	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	Ağırlıklar
(1) Eğim (°)	1	5	1	3	5	1	5	4	4	5	4	19,6
(2) Bakı		1	1/5	1/4	1	1/5	1	1/3	1/3	1	1/3	2,8
(3) Litoloji			1	3	5	1	5	4	4	5	4	19,6
(4) TWI				1	4	1/3	4	3	3	4	3	11,5
(5) NDVI					1	1/5	1	1/3	1/3	1	1/3	2,8
(6) Faylardan uzaklık						1	5	4	4	5	4	19,6
(7) Plan Eğriselliği							1	1/3	1/3	1	1/3	2,8
(8) LS								1	1	3	1	6,2
(9) Yükseklik									1	3	1	6,2
(10) Profil Eğriselliği										1	1/3	2,8
(11) SPI											1	6,2
Tutarlılık oranı: 0,03												



Şekil 3.41 AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası (AHP_2).



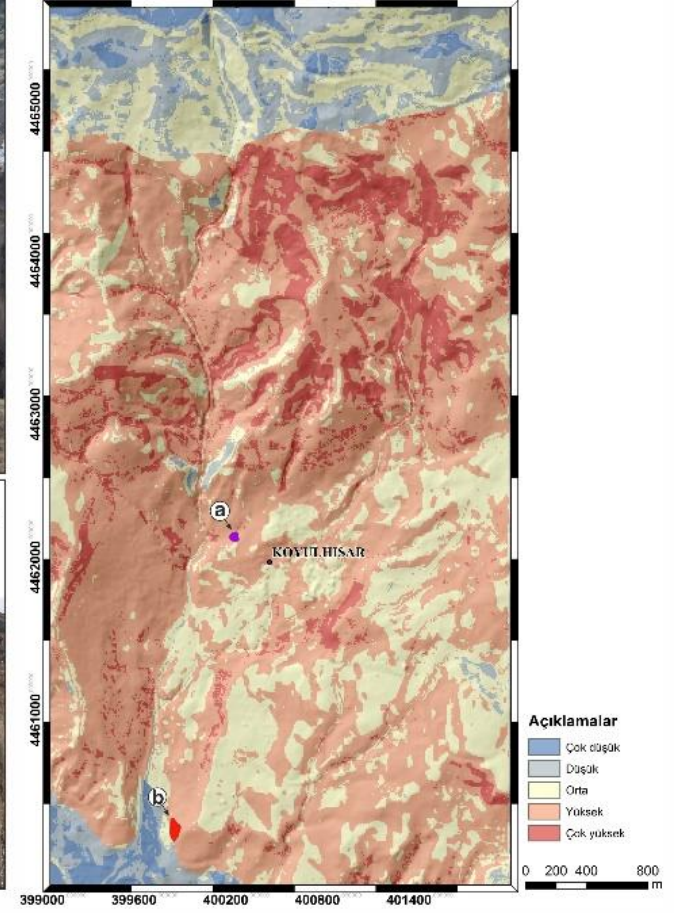
Şekil 3.42 AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası (AHP_3).



Şekil 3.43 Heyelan duyarlılık sınıflarının dağılımları.

Analitik hiyerarşi yöntemiyle ağırlıkları atanan ve üretilen heyelan duyarlılık haritaları çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfı olmak üzere 5 sınıfa ayrılan bu duyarlılık sınıflarının oransal dağılımları Şekil 3.43’de verilmiştir. Koyulhisar ilçe merkezi ve yakın çevresini kapsayan çalışma alanında elde edilen sonuçlara göre AHP_1 modeline göre alanın % 44,06’nın yüksek duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir. AHP_2 modeline göre ise alanın % 50,69’nun yüksek duyarlılığa sahip olduğu saptanırken, AHP_3 modeline göre ise % 44,27’nin yüksek duyarlı alanlar olduğu belirlenmiştir.

Büyük eski heyelan kütlelerinin izlendiği ve yeni heyelanların meydana geldiği çalışma alanında, çalışma sonrası arazi incelemesi kapsamında sahada meydana gelmiş olan heyelanlar ve üretilen AHP_2 duyarlılık haritasıyla birlikte Şekil 3.44’te gösterilmiştir. Meydana gelen heyelanların yüksek duyarlı alanlarda oluştuğu saptanmıştır.



Şekil 3.44 Çalışma sonrası sahada meydana gelen heyelanlar.

4. HEYELAN DUYARLILIK MODELLERİNİN DOĞRULANMASI

Bu aşamada ROC analizi kullanılmıştır. ROC yöntemi, AUC (Area Under the Curve) olarak adlandırılan ve DP (Doğru Pozitif) ve YP (Yanlış Pozitif) olarak sınıflandırılan alanlardaki oransal karşılaştırmalar sonucunda elde edilen eğrinin altında kalan alan değerinin hesaplanması temeline dayanmaktadır.

1950’li yılların ilk dönemlerinde sinyal belirleme analizi amacıyla geliştirilen ROC analizinin, 1960’lı yıllarda ise tıpta tanı testleri için kullanılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. 1980’li yıllarda ise değişik alanlarda kullanılmaya başlanmış ve yapılan çalışmalar bakımından da artış göstermiştir (Koyuncu, 2015). Günümüzde veri madenciliği, finans, tıp, psikoloji gibi birçok alanda kullanılan ROC eğrisi özellikle doğal afet analizleri için de yaygın olarak kullanılmakta olup (Park vd., 2013; Ahmed, 2015; Myronidis, 2016) gibi çalışmalar örnek olarak verilebilir.

ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için hesaplanan ve dikey eksen üzerinde duyarlılık, yatay eksen üzerinde (1-özgüllük) oranlarının yer aldığı bir eğridir. Sistemin başarısı ise ROC eğrisinin altında kalan alan ile belirtilirken, elde edilen değer yüksek olması ise sistemin güvenilirlik oranının da o derece yüksek olduğu anlamına gelir. ROC analizi ile bir sınıflandırma yapılmaktadır ve bu sınıflandırmanın sürekli olması durumunda bir eşik değeri belirlenip bu eşik değerine göre değişken iki sonuçlu hale getirilir. Böylece değişken değeri bu eşik değerine göre pozitif ve negatif olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Tahmin edilen değerler ve gerçek değerler bu sınıflamadan geçirildiğinde Çizelge 4.1’ de verildiği gibi dört farklı sınıfa ayrılmış olurlar (Url-2). Çizelge 4.1’e göre;

- Tahmin edilen ve gerçek veri pozitif ise doğru pozitif (DP) olarak sınıflandırılır.
- Tahmin edilen veri pozitif ve gerçek veri negatif ise yanlış pozitif (YP) olarak sınıflandırılır.
- Tahmin edilen veri ve gerçek veri negatif ise doğru negatif (DN) olarak sınıflandırılır.
- Tahmin edilen veri negatif ve gerçek veri pozitif ise yanlış negatif (YN) olarak sınıflandırılır (Url-2).

Çizelge 4.1 ROC analizi için karar matrisi

		Gerçek değer	
		Pozitif	Negatif
Tahmin edilen değer	Pozitif	DP (Doğru pozitif)	YP (Yanlış pozitif)
	Negatif	YN (Yanlış negatif)	DN (Doğru negatif)

Duyarlılık ve özgüllük değerlerinin tanımları ve ROC eğrisi eğrisi altında kalan alanların anlamları aşağıda verilmiştir (Koyucu, 2015).

Duyarlılık (Doğru Pozitif Oran): Gerçek değer pozitif olduğu ve tahmin edilen değer pozitif olabilme olasılığıdır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad [4.1]$$

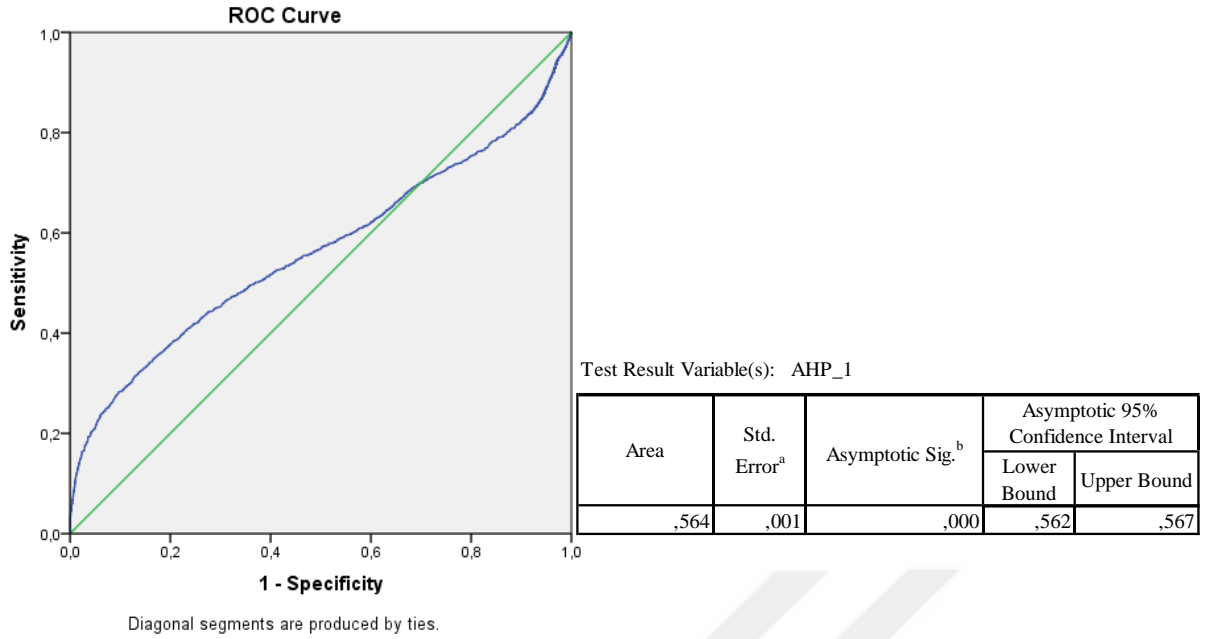
Özgüllük (Doğru Negatif Oran): Gerçek değer negatif olduğu ve tahmin edilen değer negatif olabilme olasılığıdır.

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{YP+DN} \quad [4.2]$$

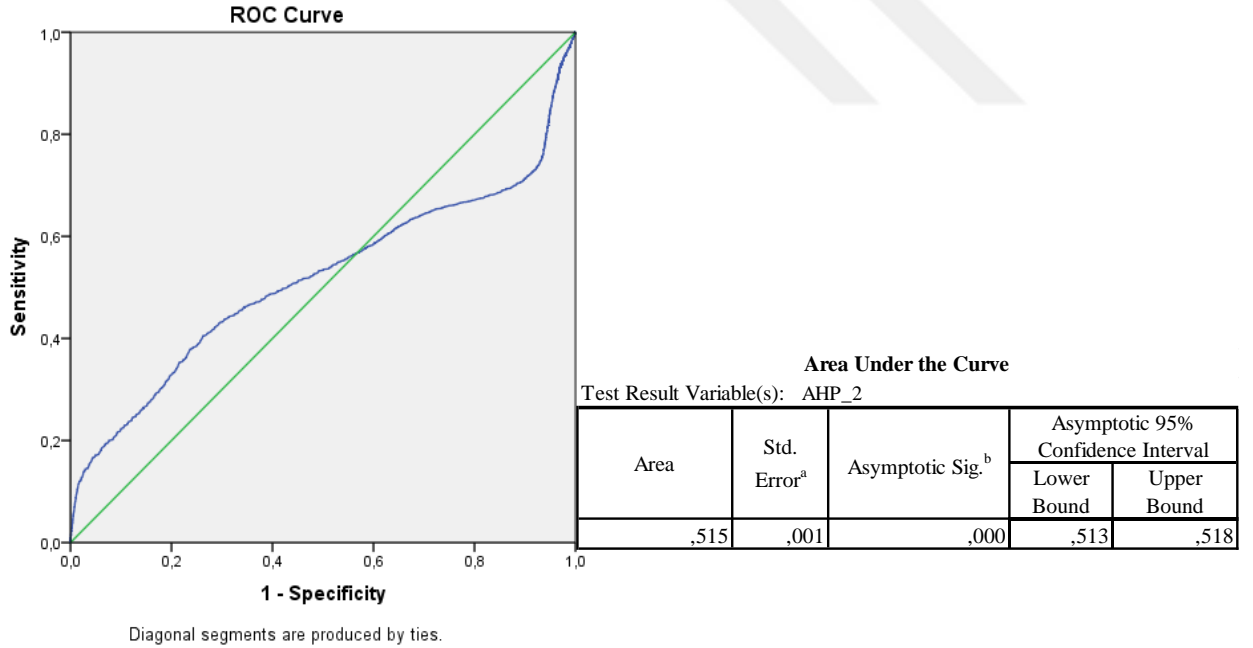
ROC eğrisi altında kalan hangi alan değeri için aşağıdaki gibi bir ayırım söylenebilir:

- 0.90-1.00 = Olağanüstü ayırım
- 0.90-0.80 = Mükemmel ayırım
- 0.80-0.70 = Orta ayırım
- 0.70-0.60 = Zayıf ayırım
- 0.60-0.50 = Kötü ayırım

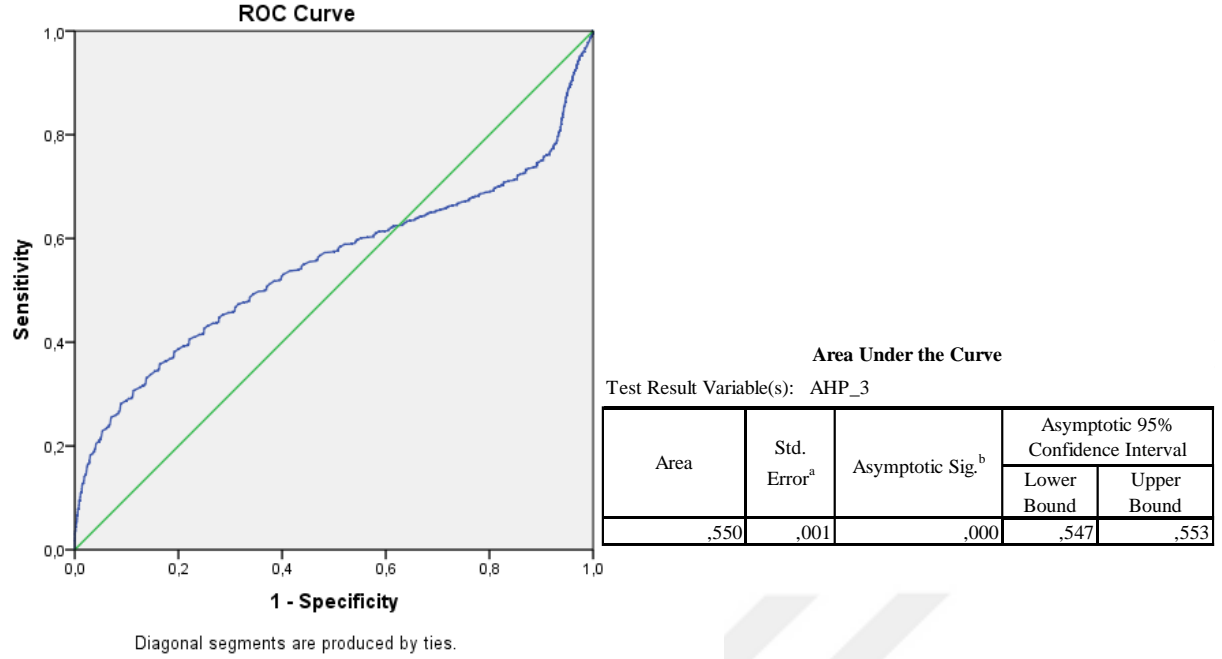
Üretilen heyelan duyarlılık modellerini doğrulama aşamasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi adına lisanslı SPSS istatistik programı kullanılmıştır. (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3)'de heyelan duyarlılık modelleri ve PS-GNSS verisine ait doğrulamalar yer almaktadır. Elde edilen değerlere göre sonuçlar 0,515 ile 0,564 arasında değişmektedir.



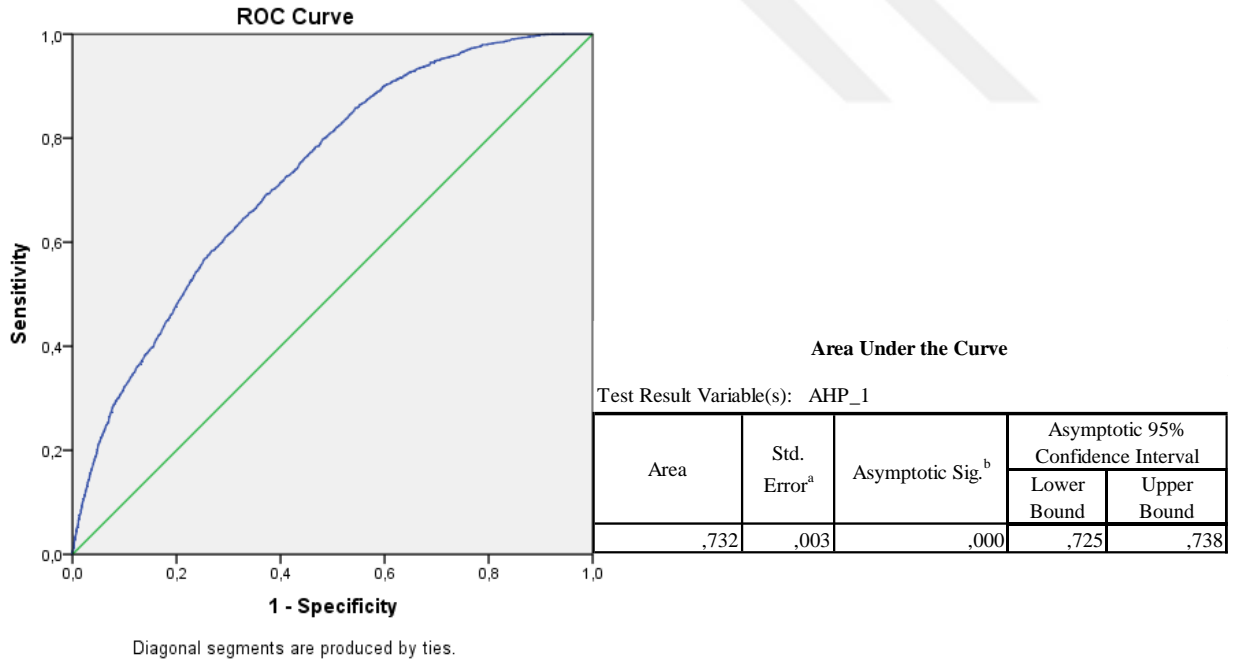
Şekil 4.1 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_1) ve PS-GNSS doğrulama sonuçları.



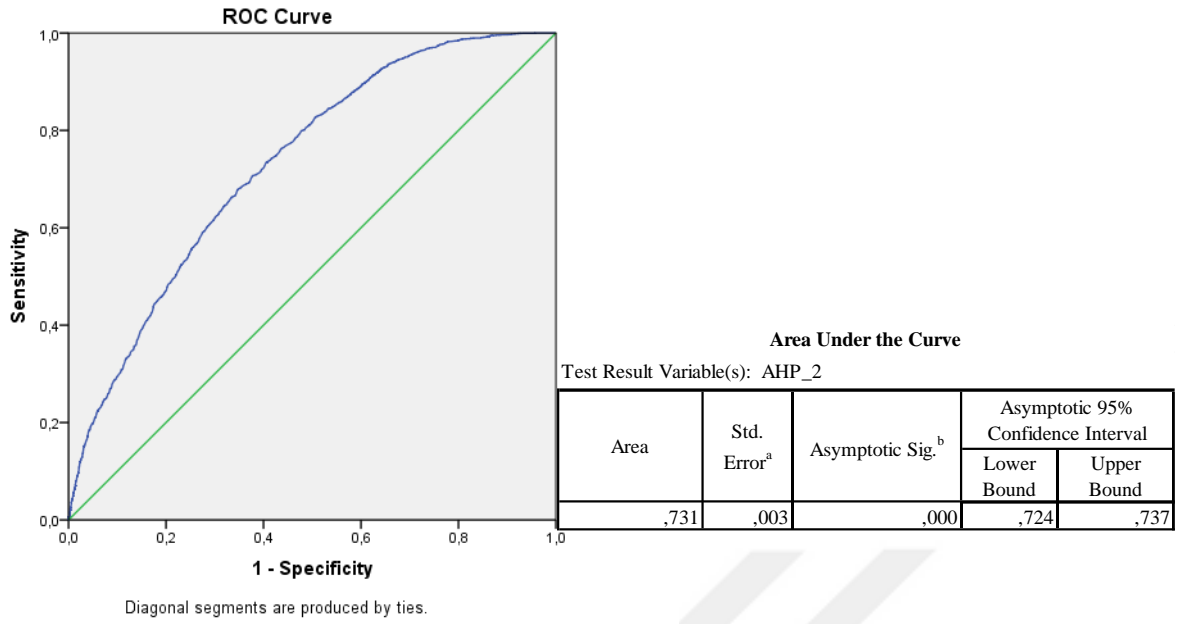
Şekil 4.2 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_2) ve PS-GNSS doğrulama sonuçları.



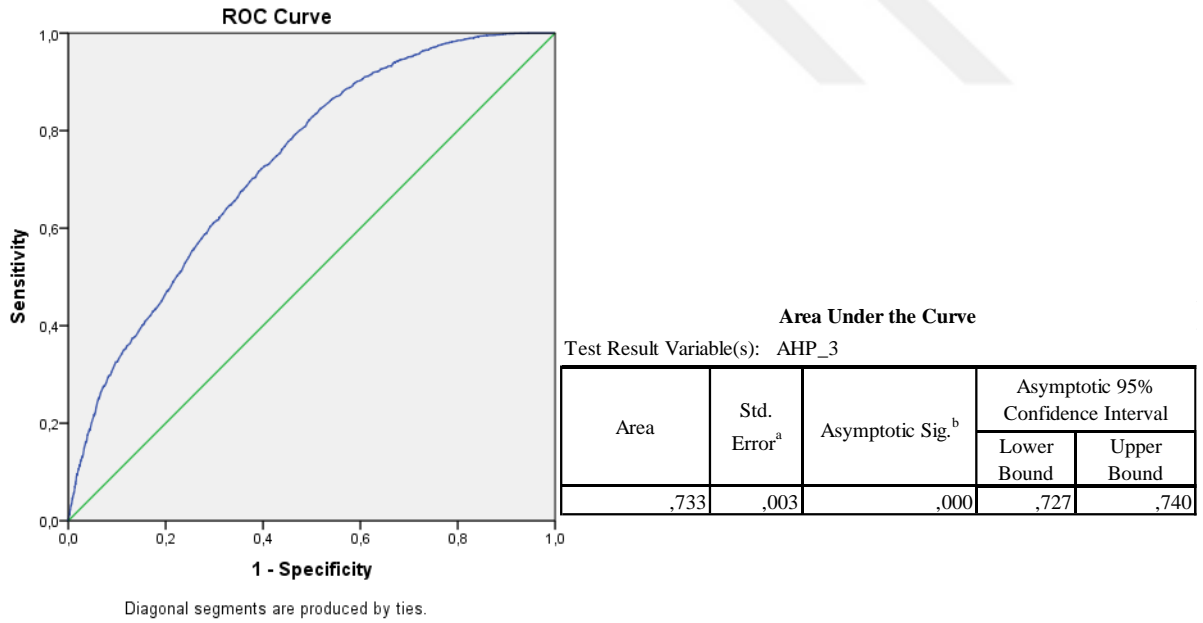
Şekil 4.3 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_3) ve PS-GNSS doğrulama sonuçları.



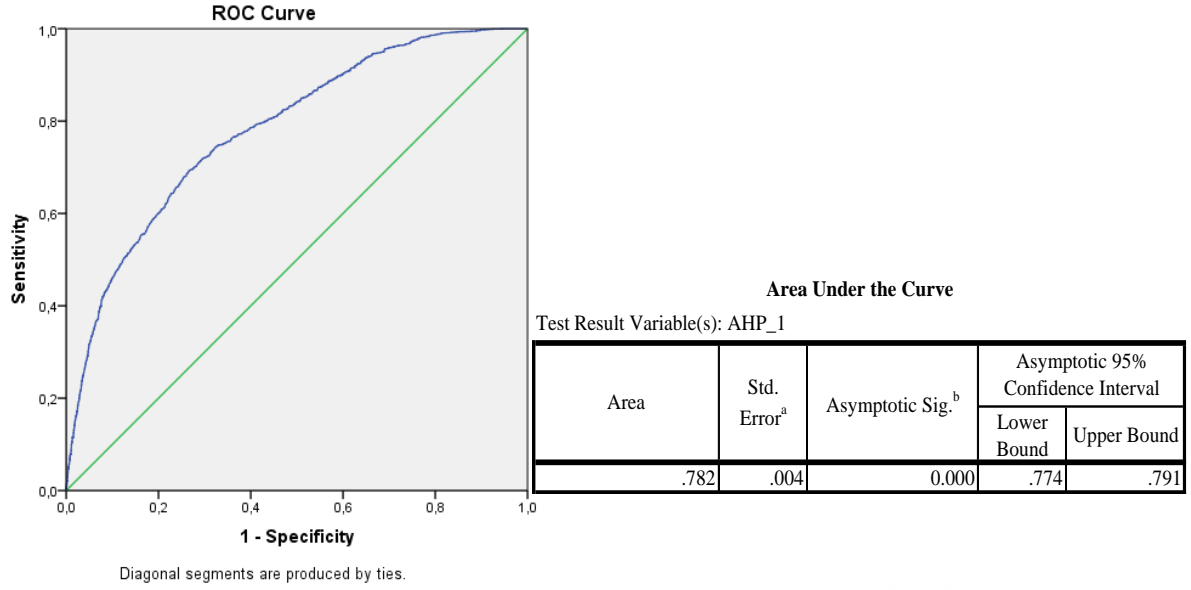
Şekil 4.4 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_1) ve heyelan alanları doğrulama sonuçları.



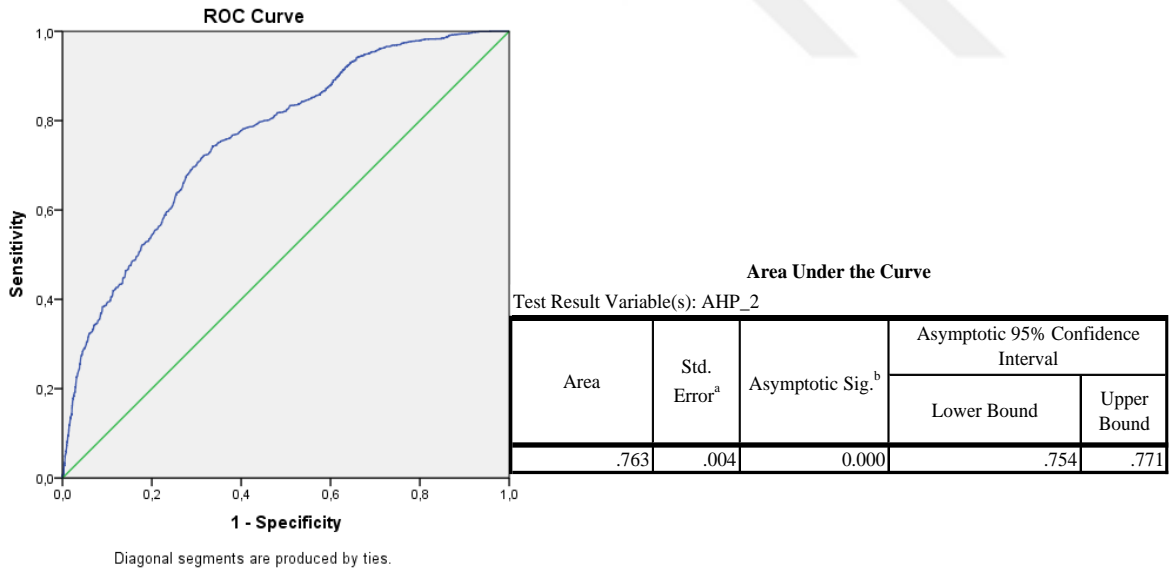
Şekil 4.5 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_2) ve heyelan alanları doğrulama sonuçları.



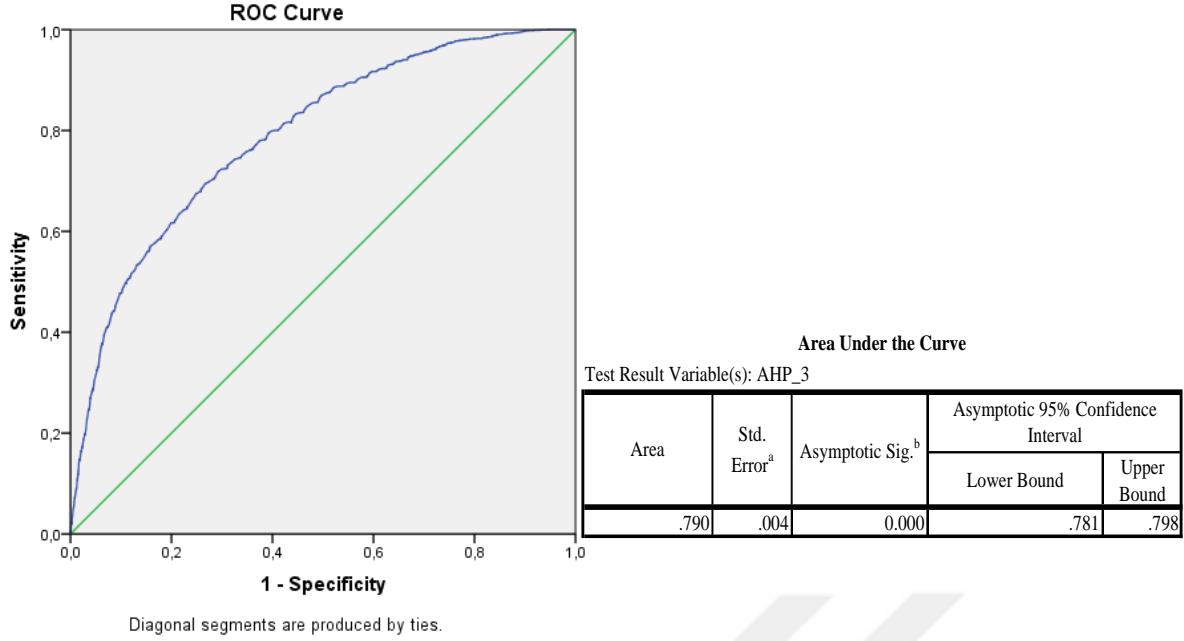
Şekil 4.6 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_3) ve heyelan alanları doğrulama sonuçları.



Şekil 4.7 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_1) ve heyelan& PS-GNSS doğrulama sonuçları.



Şekil 4.8 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_2) ve heyelan& PS-GNSS doğrulama sonuçları.



Şekil 4.9 Heyelan duyarlılık modeli (AHP_3) ve heyelan & PS-GNSS doğrulama sonuçları.

Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6'da heyelan duyarlılık modelleri ve heyelan verisine ait doğrulamalar yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre değerler 3 harita için yaklaşık ortalama 0,73 değeri hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9'da heyelan& PS-GNSS eşit ağırlıklı karşılaştırılmış harita ile heyelan duyarlılık haritaları doğrulama sonuçları yer almaktadır. Bu sonuçlara göre ise elde edilen değerler 0,76 ile 0,79 arasında değişmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın ana amacı, litoloji dışında çoğu stereo uydu görüntüsünden üretilebilen (eğim, bakı, yükseklik, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi vb.) veri setleri kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının gerçek deformasyon alanlarını yansıtmakta ne kadar başarılı olduğunun araştırılmasıdır. Bu amaçla çalışmada veri setleri için AHP yöntemi kullanılarak farklı ağırlık modellerine göre 3 farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir ve haritaların doğrulanması amacı ile PSI ve GNSS sonuç ürünlerinden üretilen eşit ağırlıklı deformasyon haritaları ve heyelan alanları kullanılmıştır. Bu analiz işlemi için ROC yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma sonunda ROC eğrisi altındaki alan hesaplamada heyelan alanları kullanıldığında ortalama 0,73 değeri elde edilmektedir. Jeodezik veri seti için 0,515 ile 0,564 değerleri arasında değişmektedir. Jeodezik veri seti& heyelan alanları için ise 0,763 ile 0,79 arasında değişmektedir. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarından AHP_1, eğim verisinin en fazla ağırlık değerine sahip olduğu harita olup, jeodezik veri seti& heyelan alanları ile doğrulandığında Eğri Altındaki Alan değeri 0,782 olarak bulunmuştur. AHP_2 heyelan duyarlılık haritasında ise eğim ve litoloji verilerinin en fazla ağırlığa değerine sahip olduğu harita olup, jeodezik veri seti& heyelan alanları ile doğrulandığında 0,763 değeri elde edilmiştir. Eğri Altındaki Alan değerinin 0,79 ile en yüksek değerinin elde edildiği harita ise eğim, litoloji ve faylardan uzaklık verisinin en fazla ağırlığa sahip olduğu AHP_3 heyelan duyarlılık haritasıdır.

Buradan da anlaşılacağı üzere jeodezik veri seti tek başına kullanıldığında test sonuçları başarısızdır. Bu başarısızlığın sebebi olarak GNSS veri setinin yetersiz olması ve çalışma sahasına ait GNSS yönteminin alansal deformasyonları belirlemedeki yetersizliği gösterilebilir. Bu çalışmada toplam 51 adet GNSS noktası kullanılmış olup bu sayı Koyulhisar Heyelanı alansal deformasyonlarını belirlemek için yeterli düzeyde değildir. Bunun yanı sıra GNSS yönteminin başarısı, büyük kütleli hareketlerin yanı sıra bölgesel dış etmenlere bağlı lokal hareketlerin izlenebilirliğidir. SAR yönteminde ise alansal deformasyonlar çok sayıda PS noktası ile başarılı bir şekilde izlenebilmekte fakat deformasyon miktarları sadece LOS yönünde belirlenebilmektedir. Sonuç olarak GNSS yöntemleri ile noktasal anlamda

deformasyonlar izlenmekte SAR yöntemi ile ise sadece LOS yönündeki deformasyonlar izlenmektedir. Bu çalışmada da yukarıda bahis edilen sebeplerden dolayı GNSS ve SAR yöntemleri kullanılarak oluşturulan deformasyon haritalarının, heyelan duyarlık haritalarını doğrulamada başarısız kaldığı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra heyelan duyarlık haritalarında tespit edilemeyen dış etmenlere bağlı (yer altı su seviye vb.) lokal hareketler GNSS ve SAR yöntemleri entegre kullanılarak belirlenmiştir. ROC analizi için, heyelan envanteri ve jeodezik verilerin karşılaştırılmasıyla oluşturulan doğrulama haritası kullanıldığında sonuçlar 0,8 değerine yaklaşmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere heyelan envanter haritasına jeodezik veriler ile elde edilen mevcut lokal deformasyon bölgeleri eklendiğinde daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Şayet sadece jeodezik deformasyon haritaları ile heyelan duyarlık haritalarının doğrulanması amaçlanmış ise 3 boyutlu ve alansal deformasyonların belirlenebildiği İnsansız Hava Aracı (İHA) fotogrametrisi veya Lidar yöntemlerinin kullanılmasının daha başarılı sonuçlar doğurabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak heyelan duyarlık haritaları oluşturulduktan sonra heyelan sahası jeodezik ya da jeofiziksel yöntemlerle alansal olarak üç boyutlu izlenerek, heyelan duyarlık haritalarının doğruluğu test edilmeli ve lokal hareketli bölgeler bu haritalara işlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Abdikan, S., Arıkan, M., Şanlı, F. B., Çakır, Z., Kemaldere, H.** (2013). Zonguldak maden alanlarında meydana gelen yer yüzeyi hareketlerinin InSAR zaman serileri ile belirlenmesi. *Harita Dergisi*, 149, 1-6.
- AFAD** (2015). Bütünleşik tehlike haritalarının hazırlanması heyelan-kaya düşmesi temel kılavuzu. *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, 151 s, Ankara.
- Ahmed, B.** (2015). Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan area, Bangladesh. *Landslides*, 12 (6), 1077-1095.
- Akbarimehr, M., Motagh, M., & Haghshenas-Haghighi, M.** (2013). Slope stability assessment of the Sarcheshmeh Landslide, Northeast Iran, investigated using InSAR and GPS observations. *Remote Sensing*, 5(8), 3681-3700.
- Akgun, A.** (2012). A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. *Landslides*, 9(1), 93-106.
- Akgün, A.** (2018). Bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi (Fuzzyart) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Tonya (Trabzon) örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 135-146.
- Aleotti, P., Chowdhury, R.** (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 58(1), 21-44.
- Altural, T.** (2012). Coğrafi bilgi sistemiyle Akşehir (Konya) çevresinin heyelan duyarlılık incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 114s, Konya.
- Arca, D., Kutoğlu, H.Ş.** (2017). Frekans oranı metodu ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 3-6 Mayıs, Ankara.
- Avcı, V.** (2015). Bingöl Çayı Havzası'nın (Bingöl) heyelan duyarlılık analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 1-26.
- Ayalew, L., Yamagishi, H.** (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
- Azami, M., Gündoğan, R., Yakupoğlu, T.** (2017). Farklı kaynaklardan üretilmiş sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oyuntu erozyonunun bazı topoğrafik karakteristiklerinin belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 5 (1) 9 – 21.
- Banai-Kashani, R.** (1989). A new method for site suitability analysis: the analytic hierarchy process. *Environmental Management*, 13(6), 685-693.
- Bayrak, T.** (2003). Heyelanlar için bir dinamik deformasyon ve bir dinamik hareket yüzeyi modelinin oluşturulması, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*, 195s, Trabzon.
- Brabb, E.** (1991). The world landslide problem. *Episodes*, 14(i): 52-61.
- Bovenga, F., Nitti, D. O., Fornaro, G., Radicioni, F., Stoppini, A., & Brigante, R.** (2013). Using C/X-band SAR interferometry and GNSS measurements for the Assisi landslide analysis. *International journal of remote sensing*, 34(11), 4083-4104.

- Carrarra, A., Cardinali, M., Guzzeti, F., & Reichenbach, P.** (1995). GIS-based techniques for mapping landslide hazard. *Geographical information systems in assessing natural hazards*, Kluwer, Dordrecht, 135-176.
- Carrara, A., Crosta, G., & Frattini, P.** (2003). Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal Of The British Geomorphological Research Group*, 28(10), 1125-1142.
- Chen, W., Han, H., Huang, B., Huang, Q., & Fu, X.** (2017). Variable-weighted linear combination model for landslide susceptibility mapping: case study in the Shennongjia Forestry District, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 347.
- Chung, C. J. F., Fabbri, A. G.** (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 65(12), 1389-1399.
- Cruden, D. M.** (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 43(1), 27-29.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J.** (1996). Landslide types and processes. landslides investigation and mitigation, Special Report 247. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.), 36–75 pp.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., Emre, Ö.** (2013). Türkiye heyelan veri tabanı. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*.
- Çellek, S.** (2013). Sinop-Gerze yöresinin heyelan duyarlılık analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*, 271s, Trabzon.
- Çomut, F.C.** (2016). Farklı yeryüzü özelliklerinde ileri InSAR teknikleri kullanılarak yüzey deformasyonlarının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora Tezi)*, 187 s, Konya.
- Dağdelenler, G.** (2013). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem ve doğrulama stratejilerinin değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın doğu kesimi). *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora Tezi)*, 186 s, Ankara.
- Dai, F. C., Lee, C. F., Li, J. X. Z. W., Xu, Z. W.** (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40(3), 381-391.
- Delikanlı, M.** (2010). Coğrafi bilgi sistemi ile Yaka (Gelendost, Isparta) bölgesinin heyelan duyarlılık incelemesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 110s, Konya.
- Demir, G.** (2011). Kuzey anadolu fayı üzerinde Niksar-Suşehri arasındaki alanın CBS tabanlı heyelan duyarlılık analizi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi)*, 177s, Trabzon.
- Demir, G.** (2016). Landslide susceptibility assessment of the part of the north anatolian fault zone (Turkey) By GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Natural Hazards And Earth System Sciences Discussions*. 1-17. 10.5194/Nhess-2016-327.
- Demir, G.** (2018) Coğrafi bilgi sistemleri ile Suşehri (Sivas) heyelan duyarlılık analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 96-112.
- Demirel M.** (2015). Koyulhisar (Sivas) heyelanının jeolojik özellikleri ve GPS, PS-InSAR yöntemleri ile izlenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 113s, Sivas.

- Dong, J., Liao, M., Xu, Q., Zhang, L., Tang, M., & Gong, J.** (2018). Detection and displacement characterization of landslides using multi-temporal satellite SAR interferometry: A case study of Danba County in the Dadu River Basin. *Engineering Geology*, 240, 95-109.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K., Toledano, J.** (1995). Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, 5, 539-547.
- Ergünay, O.** (2007). Türkiye'nin afet profili. *Tmmob Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 5-7.
- Erener, A., 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.
- Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., Moretti, S.** (2006). Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the esa-slam project. *Engineering Geology*, 88, 200-217.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T.** (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards*, 65(3), 2105-2128.
- Gens, R., & Van Genderen, J. L.** (1996). Review article Sar interferometry—issues, techniques, applications. *International Journal of Remote Sensing*, 17(10), 1803-1835.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., Can, T.** (2005). The 17 march 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81(1), 65-83.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M.** (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri Dergisi*, 5(23), 189-206.
- Görüm, T.** (2006). Coğrafi bilgi sistemi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Melen Boğazı ve yakın çevresi. *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 136s, İstanbul.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P.** (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. *Geomorphology*, 31(1), 181-216.
- Güreşçi, N. G., Seyrek, K., Sargın, A. H.** (2012). Coğrafi bilgi sistemleri ile hidroloji uygulamaları. *DSİ Genel Müdürlüğü Teknoloji Dairesi Başkanlığı, CBS Şube Müdürlüğü*.
- Hafeez, K., Zhang, Y., & Malak, N.** (2002). Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. *International Journal Of Production Economics*, 76(1), 39-51.
- Hasekiogulları, G. D., Ercanoğlu, M.** (2012). A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, Nw Turkey). *Natural Hazards*, 63(2), 1157-1179.
- Hastaoglu, K. O., Poyraz, F., Turk, T., Yilmaz, I., Kocbulut, F., Demirel, M., ... & Balik Sanli, F.** (2017). Investigation of the success of monitoring slow motion landslides using Persistent Scatterer Interferometry and GNSS methods. *Survey review*, 50(363), 475-486.

- Hastaoğlu vd.** (2015). GNSS ve PS-InSAR yöntemleri kullanılarak heyelanların izlenmesi ve afet bilgi sistemi tabanlı risk analizlerinin gerçekleştirilmesi: Koyulhisar (Sivas) heyelanları (Sonuç Raporu). *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu*, 198s.
- Jakob, M.** (2000). The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38(4), 279-300.
- Jeffrey, C.** (2010). An introduction to GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and other global navigation satellite systems. *NovAtel*.
- Kahveci, M.** (2014). Uydularla konum belirleme sistemleri (GNSS)'nin hassas tarımda kullanımı ve sağladığı katkılar. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 35-48.
- Kahveci, M., Yıldız, F.** (2009). Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), 4.Baskı, Nobel Yayınları, Ankara.
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., & Owen, L. A.** (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101(4), 631-642.
- Karsli, F., Atasoy, M., Yalcin, A., Reis, S., Demir, O., Gokceoglu, C.** (2009). Effects of land-use changes on landslides in a landslide-prone area (Ardesen, Rize, Ne Turkey). *Environmental Monitoring And Assessment*, 156(1-4), 241.
- Kayastha, P., Dhital, M. R., De Smedt, F.** (2013). Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau Watershed, West Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408.
- Kiseleva, E., Mikhailov, V., Smolyaninova, E., Dmitriev, P., Golubev, V., Timoshkina, E., ... & Hanssen, R.** (2014). PS-InSAR monitoring of landslide activity in the Black Sea coast of the Caucasus. *Procedia Technology*, 16, 404-413.
- Koukis, G., & Ziourkas, C.** (1991). Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. *Bulletin of The International Association of Engineering Geology-Bulletin De L'association Internationale De Géologie De L'ingénieur*, 43(1), 47-60.
- Koyuncu, M. S.** (2015). Psikolojik ölçeklerde ROC analizi yöntemiyle standart belirleme. *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 122 s, Ankara.
- Kramer, S. L.** (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice-Hall, New Jersey*.
- Lee, S., Ryu, J., Min, K., Choi, W., & Won, J.** (2000). Development and application of landslide susceptibility analysis techniques using geographic information system (GIS). *In Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. Igarss 2000. IEEE 2000 International (Vol. 1, Pp. 319-321). IEEE*.
- Lee, S., Min, K.** (2001). Statistical analyses of landslide susceptibility at Yongin Korea. *Environmental Geology*, Volume 40, Number 9, 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J., 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.
- Liu, J. G., Mason, P. J., Clerici, N., Chen, S., Davis, A., Miao, F., ... & Liang, L.** (2004). Landslide hazard assessment in the three gorges area of the Yangtze river using aster imagery: Zigui-Badong. *Geomorphology*, 61(1-2), 171-187.

- Luzi, L., and Pergalani, F.** (1999). Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the Öltre Po Pavese case history (Regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20, 57-82.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., & Verbeke, A.** (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 307-317.
- Malet, J. P., Maquaire, O., & Calais, E.** (2002). The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geomorphology*, 43(1-2), 33-54.
- Mandal, B., & Mandal, S.** (2018). Analytical hierarchy process (AHP) based landslide susceptibility mapping of Lish River Basin of eastern Darjeeling Himalaya, India. *Advances In Space Research*, , 62(11), 3114-3132.
- Meinhardt, M., Fink, M., & Tünschel, H.** (2015). Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics. *Geomorphology*, 234, 80-97.
- Mirzaee, S., Motagh, M., & Akbari, B.** (2017). Landslide monitoring using insar time-series and GPS observations, case study: Shabkola landslide in northern Iran. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives 42 (2017), Nr. 1W1, 42(1W1)*, 487-492.
- Mitasova, H., Mitas, L., & Harmon, R. S.** (2005). Simultaneous spline approximation and topographic analysis for lidar elevation data in open-source GIS. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2(4), 375-379.
- Moore, I. D., Burch, G. J.** (1986a). Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. *Water Resources Research*, 22(8), 1350-1360.
- Moore, I. D., Burch, G. J.** (1986b). Modelling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1624-1630.
- Moore, I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R.** (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3-30.
- Morgan, R.P.C.** (1996). Soil Erosion & Conservation. *Longman*, Harlow, England.
- Myronidis, D., Papageorgiou, C., & Theophanous, S.** (2016). Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards*, 81(1), 245-263.
- Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., Durmaz, S.** (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94(3-4), 401-418.
- Nishiguchi, T., Tsuchiya, S., & Imaizumi, F.** (2017). Detection and accuracy of landslide movement by Insar analysis using Palsar-2 data. *Landslides*, 14(4), 1483-1490.
- Öztürk, D.** (2009). CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemleri ile sel ve taşkın duyarlılığının belirlenmesi: Güney Marmara Havzası örneği. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yayınlanmamış doktora tezi), 150s, İstanbul.

- Özşahin, E.** (2014). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak Antakya (Hatay) şehri'nde kütle hareketleri duyarlılığının değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2).
- Park, S., Choi, C., Kim, B., & Kim, J.** (2013). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environmental Earth Sciences*, 68(5), 1443-1464.
- Radicioni, F., Stoppini, A., Brigante, R., Fornaro, G., Bovenga, F., & Nitti, D. O.** (2012). Long-term GNSS and SAR data comparison for the deformation monitoring of the Assisi landslide. *In Proceedings of The Fig Working Week*.
- Rahn, H.P.** (2006). Mühendislik Jeolojisi, Çevresel Bir Yaklaşım. *Gazi Kitapevi (Çeviri: Akyol, E., Kayabaltı, K.)*, 656 Sayfa, 2. Baskı, Ankara.
- Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C., & Ekercin, S.** (2009). CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu (Tufuab 2009)*, Ankara.
- Saaty, T. L.** (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal Of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. L., & Niemira, M. P.** (2006). A framework for making a better decision how to make more effective site selection, store closing and other real estate decisions. *Research Review*, 13(1).
- Saaty, T. L.** (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Schuster R.L.** (1996) Socioeconomic Significance of Landslides. Landslides: Investigation and Mitigation, **A.K. Turner and R.L. Schuster** (Eds.), *National Academic Press*, 12-35, Washington D.C.
- Sendir H., Yılmaz I.** (2001). Koyulhisar heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A:Yer Bilimleri*, 18 (1), 47-54.
- Sendir, H., & Yılmaz, I.** (2002). Structural, geomorphological and geomechanical aspects of the Koyulhisar landslides in the north anatolian fault zone (Sivas, Turkey). *Environmental Geology*, 42(1), 52-60.
- Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B. B., & Hashim, M.** (2014). Landslide susceptibility mapping at central Zab Basin, Iran: a comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena*, 115, 55-70.
- Sivakami, C., & Sundaram, A.** (2014). Landslide susceptibility zone using frequency ratio model, remote sensing and gis—a case study of Western Ghats, India (Part of Kodaikanal Taluk). *Journal Of Environment and Earth Science*, 22.
- Speight, J. G.** (1980). The role of topography in controlling through flow generation: a discussion. *Earth Surface Processes*, 5(2), 187-191.
- Strozzi, T., Delaloye, R., Käab, A., Ambrosi, C., Perruchoud, E., & Wegmüller, U.** (2010). Combined observations of rock mass movements using satellite sar interferometry, differential GPS, airborne digital photogrammetry, and airborne photography interpretation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(F1).
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M., & Eren, T.** (2017). Ankara'da AHP ve PROMETHEE yaklaşımıyla monoray hat tipinin belirlenmesi. *Ekonomi, İşletme, Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3(1), 65-89.

- Terlemez, I., Yilmaz, A.** (1980). Ünye-Ordu-Resadiye-Koyulhisar- Karaçayır-Hafik arasında kalan bölgesinin jeolojisi *Maden Tetkik ve Arama*, Rp. No: 6671.
- Terzioğlu, N.** (1986). Reşadiye-Gölköy ve Koyulhisar arasındaki tersiyer kuvaterner yaşlı volkanitlerinin genel stratigrafik özellikleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Yerbilimleri*, 3/1, 3- 13.
- Timor, M.** (2011). Analitik Hiyerarşi Prosesi. *Türkmen Kitabevi Yayınları No: 380*, 303s, İstanbul.
- Toprak, V.** (1988). Tectonic and stratigraphic characteristics of the Koyulhisar segment of the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey). *Middle East Technical University* (PhD thesis), Ankara.
- Tüdeş, Ş.** (2011). Planlamada jeolojik eşiklerin değerlendirilmesine ilişkin analitik bir model önerisi-Portsmouth (İngiltere) örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2).
- Ulusay, R.** (2007). Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar: türleri, etkileri ve zararların azaltılması. *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 158-160, Samsun.
- Uromeihy, A., Mahdaviyar, M. R.** (2000). Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 58(3), 207-213.
- Url-1**<<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>, alındığı tarih: 20.04.2018.
- Url-2**<<http://portal.netcad.com.tr/display/HELP/ROC+Analizi>, alındığı tarih: 28.12.2018.
- Uysal vd.** (1995). Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama*, Rapor No: 9838.
- Van Westen, C. J.** (1993). Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation. *ITC publication no 15, ITC*, Netherlands.
- Varnes, D. J.** (1978). Slope movement types and processes. *Special report*, 176, 11-33.
- Varnes, D. J.** (1984). Landslide Hazard Zonation: A Review Of Principles And Practice (No. 3).
- Wilson, J. P., Gallant, J. C.** (2000). Digital Terrain Analysis. *Terrain Analysis: Principles and Applications*, 6(12), 1-27.
- Yalçın, A.** (2007). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS'nin Kullanımı. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, c.23, s.3, 2007.
- Yalcin, A.** (2008). Gıs-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72(1), 1-12.
- Yaraloğlu, K.** (2010). Karar Verme Yöntemleri. *Detay Yayıncılık*, 270s, Ankara.
- Yavaşoğlu H., Özbey V., Alkan R.M., Erden T., Alkan M.N., Aladoğan K., Köse Z.** (2016). GNSS verilerinin yer bilimlerinde kullanımı: orta ve batı anadolu örneği. 8. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldırım, B. F., Önder, E.** (2014). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. *Dora Yayıncılık*, 337s, Bursa.
- Yilmaz, I.** (2009). A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. *Bulletin Of Engineering Geology And The Environment*, 68(3), 297-306.

- Yin, Y., Zheng, W., Liu, Y., Zhang, J., & Li, X.** (2010). Integration of GPS with InSAR to monitoring of the Jiaju landslide in Sichuan, China. *Landslides*, 7(3), 359-365.
- Yomraloğlu, T.** (2000). Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar, *Akademi Kitabevi*, 480s, Trabzon.
- Yüksel, N.** (2007). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında istatistiksel yöntemlerin ve yapay sinir ağlarının kullanılması: Kumluca-Ulus (Bartın) bölgesi. *Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, (Yayınlanmamış Doktora Tezi)*.
- Yürüdü, E.** (2008). Koyulhisar ilçesinde (Sivas) göç hareketleri. *Doğu Coğrafiya Dergisi*, 13(20).



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Şeyma Ceylan
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 08.12.1988
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	seymaceylan88@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Kongre Lisesi, 2007
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2012
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2015

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Görevlisi, 2014