

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNATÖRLÜĞÜ (AÇÜBAP)

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU

PROJE NO : 2012.F40.02.31
PROJE TÜRÜ : **Kapsamlı Araştırma Projesi**
PROJE ADI : **Artvin İl Merkezinin Heyelan**
Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :
Yrd. Doç. Dr. Halil AKINCI

ARAŞTIRMACILAR :
Yrd. Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZALP
Öğr. Gör. Cem KILIÇOĞLU
Öğr. Gör. Emre EVERAN
Arş. Gör. Sebahat TEMUÇİN KILIÇER

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNATÖRLÜĞÜ (AÇÜBAP)

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

PROJE NO : 2012.F40.02.31

PROJE TİPİ : Kapsamlı Araştırma Projesi

PROJE ADI : **Artvin İl** Merkezinin Heyelan

Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :

Yrd. Doç. Dr. Halil AKINCI

ARAŞTIRMACILAR :

Yrd. Doç. Dr. **Ayşe YAVUZ ÖZALP**

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

Öğr. Gör. Cem KILIÇOĞLU

Öğr. Gör. Emre EVERAN

Ars.Gör. Sebahat TEMUÇİN KILIÇER

ÖNSÖZ

Doğal afetler, genel olarak, “önceden tahmin edilemeyen ve oluşumu engellenemeyen biyolojik, meteorolojik, hidrolojik, iklimsel ve jeofiziksel kökenli olaylar” şeklinde tanımlanmaktadır. Türkiye’de depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına neden olan doğal afet türünün “heyelanlar” olduğu bilinen bir gerçektir.

Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2008 yılında yayınlanan ve 1950-2000 yılları arasında ülkemizde meydana gelen afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımlarının incelendiği “Afet Bilgileri Envanteri”ne göre Artvin, Türkiye’de doğal afetlerin en sık yaşandığı ilk 10 (on) il arasında yer almaktadır. Yine söz konusu doküman incelediğinde, Artvin’de meydana gelen 658 doğal afet olayından 471’ini (doğal afetlerin yaklaşık %72’sini) heyelanların oluşturduğu, heyelanların genellikle Hopa, Arhavi ve Borçka ilçelerinde yoğunlaştığı ve sadece bu üç ilçede 400’ün üzerinde konutun heyelan afetinden etkilendiği görülmektedir.

Heyelan kaynaklı can kayıplarının önlenmesi ve maddi zararların azaltılması amacı ile çok sayıda bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmını heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalar oluşturmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesindeki amaç, heyelanlar açısından riskli ve tehlikeli alanları tespit ederek heyelanların yıkıcı etkilerini azaltmaktır. Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (AÇÜBAP) tarafından desteklenen bu projenin de temel amacı, Artvin ilinde nüfusun yaklaşık %20’sinin yaşadığı Merkez ilçenin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesidir.

Projenin çalışma alanını oluşturan Artvin İli Merkez ilçesinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik bilimsel bir çalışma henüz gerçekleştirilmemiştir. Dolayısıyla, bu proje konu ile ilgili olarak bölgede yapılan ilk kapsamlı araştırma olacak ve proje sonucunda üretilmesi planlanan bilimsel yayınlar literatürde bu bölgeye ait boşluğun doldurulmasına katkıda bulunacaktır. Ayrıca, projeden üretilecek haritalar, ilgili kurumlarla paylaşılarak, doğal afetler nedeniyle yaşanması muhtemel can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi için gerekli altyapı ve mühendislik çalışmalarının yapılmasına katkıda bulunulacaktır. Diğer yandan, Üniversitemizin ilin afet sorunlarına el atması ve bu sorunlara bilimsel temellere dayanan çözümler üretmesini sağlaması açısından oldukça önemli olan bu proje, Üniversitemizin kentle bütünleşmesine ve başta İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü olmak üzere Valilik ve Belediye ile işbirliğini geliştirmesine katkıda bulunacaktır.

Projeye verdiği maddi destek sayesinde yukarıda dile getirilen katkıların önünü açan Üniversitemiz Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne teşekkür ederim.

Yrd. Doç. Dr. Halil AKINCI
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
2.1. Çalışma Alanı.....	4
2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	5
2.3. Çalışma Yöntemi.....	7
2.4. Verilerin Temini ve Hazırlanması.....	7
2.5. Frekans Oranı Metodu Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	12
2.6. Lojistik Regresyon Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi.	13
2.7. Bayes Olasılık Teoremi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	15
2.8. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Birleştirilmesi.....	16
2.9. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Doğruluk Değerlendirmesi.....	17
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	19
4. SONUÇ.....	20
5. KAYNAKLAR.....	21

ÖZET

Heyelanlar, tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Ülkemizde son 50 yılda meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, heyelanların %45’lik oranla en sık gerçekleşen doğal afet olduğunu görmekteyiz. Heyelan afeti için yapılan değerlendirmede tüm illerimizin heyelandan belirli derecelerde etkilendiği görülmektedir.

Heyelanların sebep olduğu sosyal ve ekonomik kayıplar etkili bir planlama ve yönetimle azaltılabilmektedir. Bunun için, yerleşim alanlarının seçimi, alt yapı çalışmaları ve diğer mühendislik yapılarının inşasında jeolojik ve jeoteknik amaçlı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, değişik bilgileri içeren haritalar hazırlanmaktadır. Bu çerçevede hazırlanan jeolojik tabanlı en önemli haritalardan birisi de duyarlılık haritalarıdır. Duyarlılık haritaları, geçmişte meydana gelen heyelan, sel, deprem ve volkan patlaması gibi doğal afetlerin gelecekteki oluşumlarının tahmin edilmesine olanak sağlayan bilgileri içerir. Bu noktadan hareketle, heyelan duyarlılık haritalarının temel amacı, heyelanlar açısından riskli ve tehlikeli alanları tespit ederek heyelanların etkilerini azaltmaktır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanıldığı tespit edilen metotlar; frekans oranı metodu, lojistik regresyon ve bayes olasılık modelidir. Bu projede de, basit ve anlaşılır bir olasılık modeline sahip olmaları, doğru sonuçlar sağlamaları ve uygulamalarının kolay olmaları nedeniyle adı geçen üç metot kullanılarak, Artvin il merkezinin heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Duyarlılık analizlerinde; yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, litoloji, arazi örtüsü, topoğrafik nemlilik indeksi, toprak derinliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri dikkate alınmıştır. Üretilen haritaların güvenilirliğini test etmek için duyarlılık haritaları kontrol veri seti ile karşılaştırılmış ve bayes olasılık modeline göre üretilen duyarlılık haritasının diğerlerine göre daha doğru sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CBS, heyelan, duyarlılık haritası, frekans oranı metodu, lojistik regresyon, bayes olasılık teoremi

ABSTRACT

Landslides are one of the foremost natural disasters causing loss of life and property in Turkey, as well as in all other parts of the world. If the natural disasters that have occurred in the last 50 years in our country are analyzed, one can observe that landslides are the most frequent natural disasters with the ratio of 45%. In a past evaluation conducted for the landslide disaster, it is seen that almost all of the provinces have been affected from landslides to a certain extent

Social and economic losses caused by landslides can be minimized by an effective planning and management. In general, for landslide evaluation tasks, different types of maps containing various information are prepared by conducting field and laboratory studies for the geological and the geotechnical purposes. These maps are used for numerous tasks such as choosing settlement areas, infrastructure works, and the construction facilities of other engineering structures. In this context, susceptibility maps are one of the most important geology-based maps. Susceptibility maps contain information enabling to predict future occurrence of past natural disasters such as landslides, floods, earthquakes and volcanic eruptions. From this point of view, the main goal of landslide susceptibility maps is to minimize the effects of the landslides by determining hazardous and perilous areas for landslides.

Various methods and techniques are used for the production of landslide susceptibility maps by using Geographical Information Systems (GIS). The frequency ratio method, logistic regression and weights of evidence model are the ones commonly used in the literature. In this project, landslide susceptibility maps of Artvin city center were produced by using these methods as well, since they have a simple and understandable probabilistic model with an acceptable accuracy and are very easy to apply. In susceptibility analysis, the parameters of altitude, slope, aspect, curvature, lithology, land cover, soil depth, topographical wetness index and proximity to roads and rivers have been taken into account. In order to verify the reliability of the generated maps in this study, all the susceptibility maps were compared with the control data set and it was determined that the susceptibility map created according to the weights of evidence model gave more correct results than other two models.

Keywords: GIS, landslide, susceptibility map, frequency ratio method, logistic regression, weights of evidence model

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Doğal afetlerin sınıflandırılması	1
Şekil 2. Türkiye'deki afet olay sayısının afet türlerine göre dağılımı	2
Şekil 3. Olay sayısı bazında heyelanlardan etkilenen illerin dağılımı	3
Şekil 4. Çalışma alanı haritası.....	4
Şekil 5. Çalışma alanının jeoloji haritası	5
Şekil 6. Çalışmada kullanılan veriler ve izlenen adımlar	7
Şekil 7. Frekans oranı metoduna göre üretilen heyelan duyarlılık haritası	13
Şekil 8. Lojistik regresyon kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası	14
Şekil 9. Bayes olasılık modeli kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası...	15
Şekil 10. Bütünleşik heyelan duyarlılık haritası	17
Şekil 11. Duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesinde kullanılan ROC eğrileri.....	18

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Heyelanı etkileyen parametrelerin frekans oranları ve bayes ağırlıkları.....	9
Tablo 2. Çalışma alanının duyarlılık derecelerine göre alansal ve yüzde olarak dağılımı.....	16
Tablo 3. Heyelan duyarlılık haritalarının doğru sınıflandırma değerleri.....	17

1. GİRİŞ

Afet, yerel kapasiteyi aşan, ulusal veya uluslararası düzeyde yardım gerektiren, önceden tahmin edilemeyen ve çoğu kez aniden meydana gelen, büyük zararlara, yıkımlara ve acılara neden olan bir durum veya olay olarak tanımlanmaktadır (Vos ve ark. 2010). Afetler, insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olan olaylardır. Örneğin, 2012 yılında dünya genelinde meydana gelen 357 doğal afet olayından 120 milyonun üzerinde insanın etkilendiği, 9655 insanın yaşamını yitirdiği ve 157.3 milyar dolar ekonomik zararın olduğu rapor edilmiştir (Guha-Sapir ve ark. 2013).

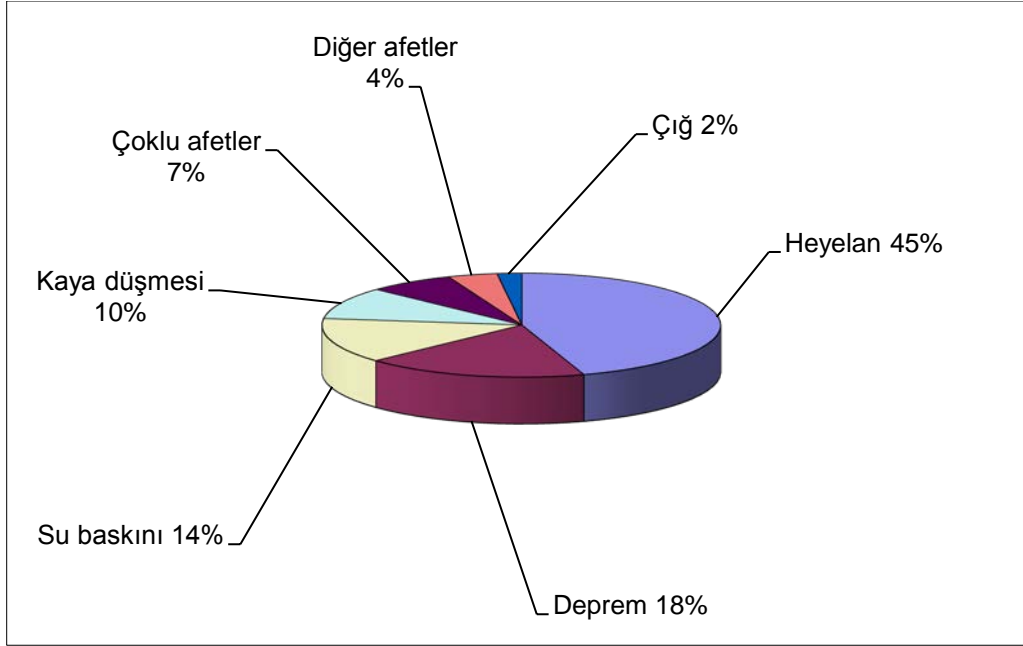
Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (CRED) tarafından 1988 yılından itibaren yönetilen ve 1900 yılından günümüze kadar dünya genelinde meydana gelen 20.000'den fazla afet ile ilgili bilgilerin tutulduğu "Uluslararası Afet Veritabanı (EM_DAT)" afetleri, "doğal ve teknolojik afetler" olmak üzere iki temel gruba ayırmaktadır. Doğal afetler, 5 alt grupta 12 afet tipini içermektedir (Şekil 1). Bu sınıflandırmadan hareketle doğal afetleri, genel olarak, "önceden tahmin edilemeyen ve oluşumu engellenemeyen biyolojik, meteorolojik, hidrolojik, iklimsel ve jeofiziksel kökenli olayların sonuçları" şeklinde tanımlayabiliriz.



Şekil 1. Doğal afetlerin sınıflandırılması (Vos ve ark. 2010).

Depremler, taşkınlar ve kasırgalarla birlikte tüm Dünya'da en sık görülen doğal afetlerden biri de heyelanlardır. Heyelan, bir yamacı oluşturan doğal kaya, toprak veya yapay dolgu malzemenin ya da bunların kombinasyonundan oluşan malzemelerin aşağı ya da dış doğru hareket etmesi ve yer değiştirmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Varnes 1958). Heyelanlar, çoğu zaman, can kaybı, ekonomik zararlar, çevresel etkiler, kültürel ve doğal miras kaybı gibi büyük ölçekli sosyoekonomik yıkımlara neden olurlar. Örneğin, 2 Mayıs 2014 tarihinde Afganistan'ın kuzeydoğusundaki Badahşan vilayetinde aşırı yağışların neden olduğu heyelan sonucunda 256 kişi yaşamını yitirmiş ve 300 konut hasar görmüştür (IFRC, 2014).

Heyelanlar, tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Ülkemizde son 50 yılda meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, heyelanların %45’lik oranla en sık gerçekleşen doğal afet olduğunu görmekteyiz (Şekil 2). Heyelan afeti için yapılan değerlendirmede tüm illerimizin heyelandan belirli derecelerde etkilendiği görülmektedir (Gökçe ve ark. 2008). Türkiye’de heyelan olay sayısı bazında heyelanlardan etkilenen illerin dağılımı Şekil 3’de gösterilmiştir. Heyelanların yıkıcı etkisi Ülkemizde kendisini son olarak 26 Ağustos 2010 tarihinde acı bir şekilde göstermiştir. Rize merkeze bağlı Gündoğdu beldesinde sağanak yağışların neden olduğu heyelan sonucunda 13 kişi hayatını kaybetmiştir.

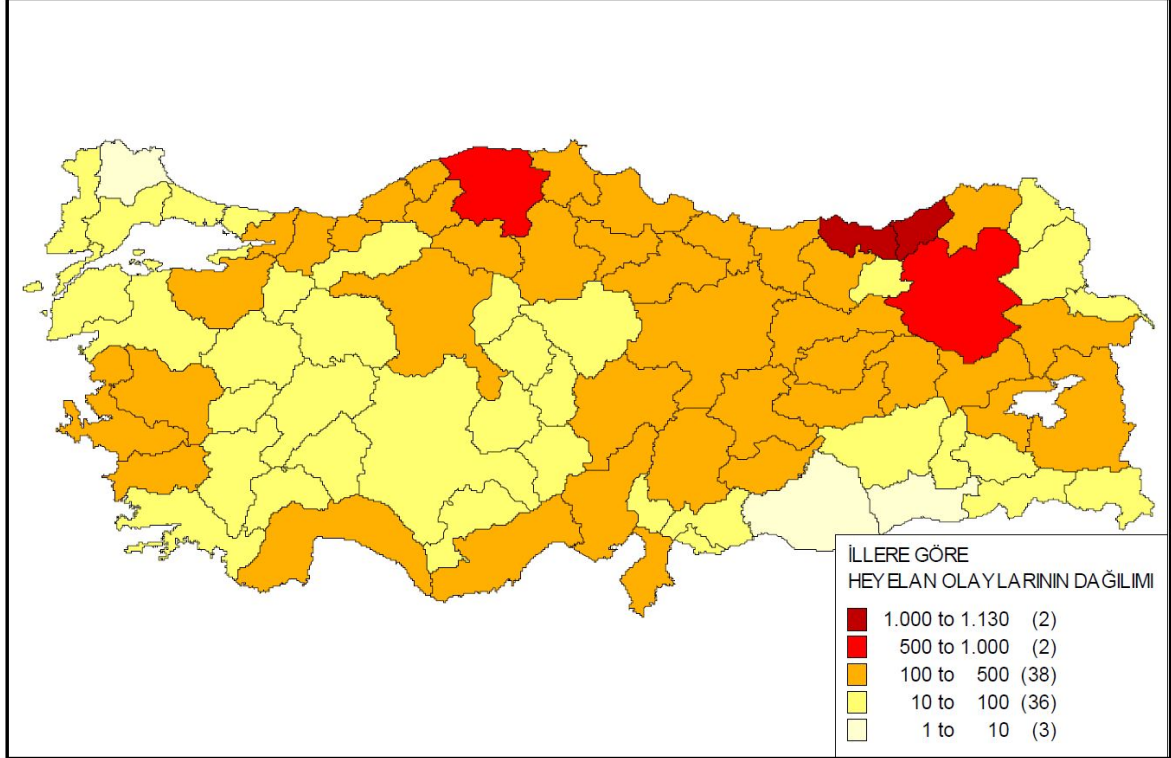


Şekil 2. Türkiye’deki afet olay sayısının afet türlerine göre dağılımı (Gökçe ve ark. 2008).

Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2008 yılında yayınlanan ve 1950-2000 yılları arasında ülkemizde meydana gelen afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımlarının incelendiği “Afet Bilgileri Envanteri”ne göre Artvin, Türkiye’de doğal afetlerin en sık yaşandığı ilk 10 (on) il arasında yer almaktadır. Yine söz konusu doküman incelediğinde, Artvin’de meydana gelen 658 doğal afet olayından 471’ini (doğal afetlerin yaklaşık %72’sini) heyelanların oluşturduğu, heyelanların genellikle Hopa, Arhavi ve Borçka ilçelerinde yoğunlaştığı ve sadece bu üç ilçede 400’ün üzerinde konutun heyelan afetinden etkilendiği görülmektedir. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yönetilen Türkiye Ulusal Afet Arşivi verileri incelendiğinde ise Artvin’de afet niteliği taşıyan 57 heyelan olayının meydana geldiği, 5 kişinin yaşamını yitirdiği ve 6757 kişinin de etkilendiği görülmektedir. Heyelanların ülkemizde can ve mal kayıplarına neden olan en önemli doğal afetlerin başında geldiği gerçeği ve Artvin’in mevcut heyelan potansiyeli dikkate alındığında, olası can ve mal kayıplarının önüne geçmek için Artvin ilinde nüfusun yaklaşık %20’sinin yaşadığı Merkez ilçenin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Heyelanların sebep olduğu sosyal ve ekonomik kayıplar etkili bir planlama ve yönetimle azaltılabilmektedir. Bunun için, yerleşim alanlarının seçimi, alt yapı çalışmaları ve diğer mühendislik yapılarının inşasında jeolojik ve jeoteknik amaçlı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, değişik bilgileri içeren farklı türde haritalar hazırlanmaktadır. Bu

çerçevede hazırlanan jeolojik tabanlı en önemli haritalardan birisi de heyelan duyarlılık haritalarıdır (Yalçın 2007a). Heyelan duyarlılık haritaları, gelecekte olabilecek heyelanlara karşı duyarlı alanları ortaya koyarlar ve herhangi bir alanın heyelan oluşumuna karşı eğilimini ifade ederler (Guzzetti ve ark. 2006, Dağdelenler 2013).



Şekil 3. Olay sayısı bazında heyelanlardan etkilenen illerin dağılımı (Gökçe ve ark. 2008).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntem ve parametrelerin değerlendirildiği çalışmalarda (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001; Dağ ve ark. 2011), bölgesel özelliklerden dolayı araştırmacıların heyelan duyarlılık analizlerinde farklı parametreler kullanmasına rağmen eğim, bakı, litoloji ve arazi örtüsünün sıkça kullanılan parametrelerden olduğu dile getirilmiştir. Parametre seçiminde, bölgesel özelliklerin yanı sıra kullanılacak parametre ile ilgili veri setinin temin edilip edilemediğinin de etkili olduğu bilinen bir gerçektir. Bu proje kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinde; yükseklik, eğim, bakı, eğrilik (plan ve profil eğrilikleri), litoloji, arazi örtüsü, topoğrafik nemlilik indeksi, toprak derinliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri kullanılmıştır.

Literatürde, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması sırasında kullanılan yöntemler ve parametreler konusunda araştırmacılar arasında henüz bir görüş birliğinin oluşmadığı ve her araştırmacının çalıştığı sahaya ilişkin parametreleri dikkate alması nedeniyle çok sayıda parametre ve yöntemin kullanıldığı dile getirilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001; Dağ ve ark. 2011). Dağ ve ark. (2011), özellikle son 20 yıllık döneme ait literatürde ulaşılabilen 118 adet çalışmayı incelemiş ve heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında, çoğunlukla istatistiksel yöntemlerin kullanıldığına ve bu yöntemlerle hazırlanan haritaların oranının %64 olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu projede de, literatürde yaygın olarak kullanılıyor olmaları, basit ve anlaşılır bir istatistik modeline sahip olmaları, doğru sonuçlar sağlamaları ve uygulamalarının kolay olmaları nedeniyle frekans oranı metodu, lojistik regresyon metodu ve bayes olasılık modeli kullanılmıştır.

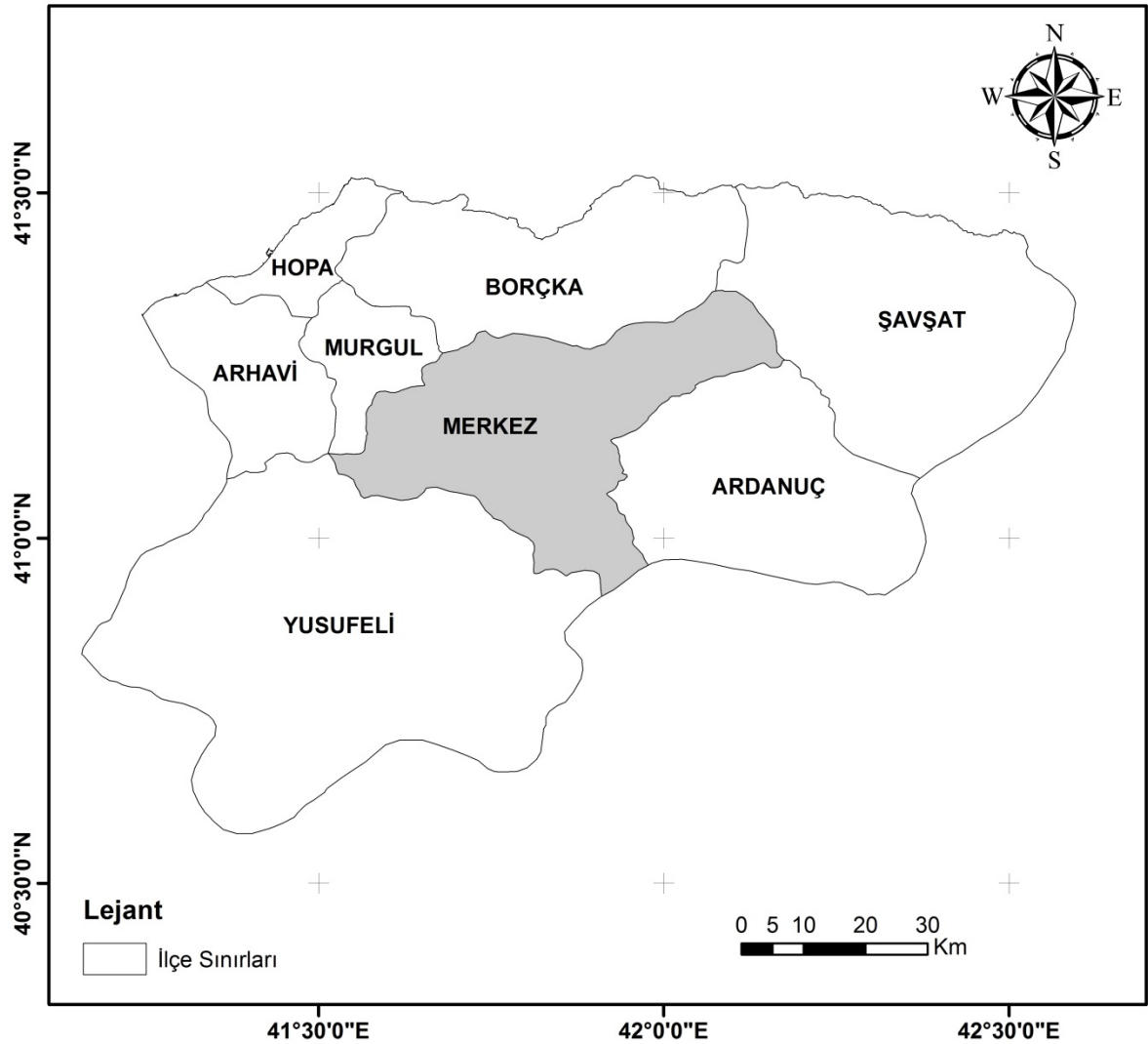
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Proje kapsamındaki çalışmalar, Artvin ilinin Merkez ilçesinde gerçekleştirilmiştir. $40^{\circ} 54' 57''$ – $41^{\circ} 21' 31''$ kuzey enlemleri ile $41^{\circ} 30' 51''$ – $42^{\circ} 10' 31''$ doğu boylamları arasında kalan (Şekil 4) ilçe 114861.86 ha'lık bir alana sahiptir (Yavuz Özalp ve ark. 2013).

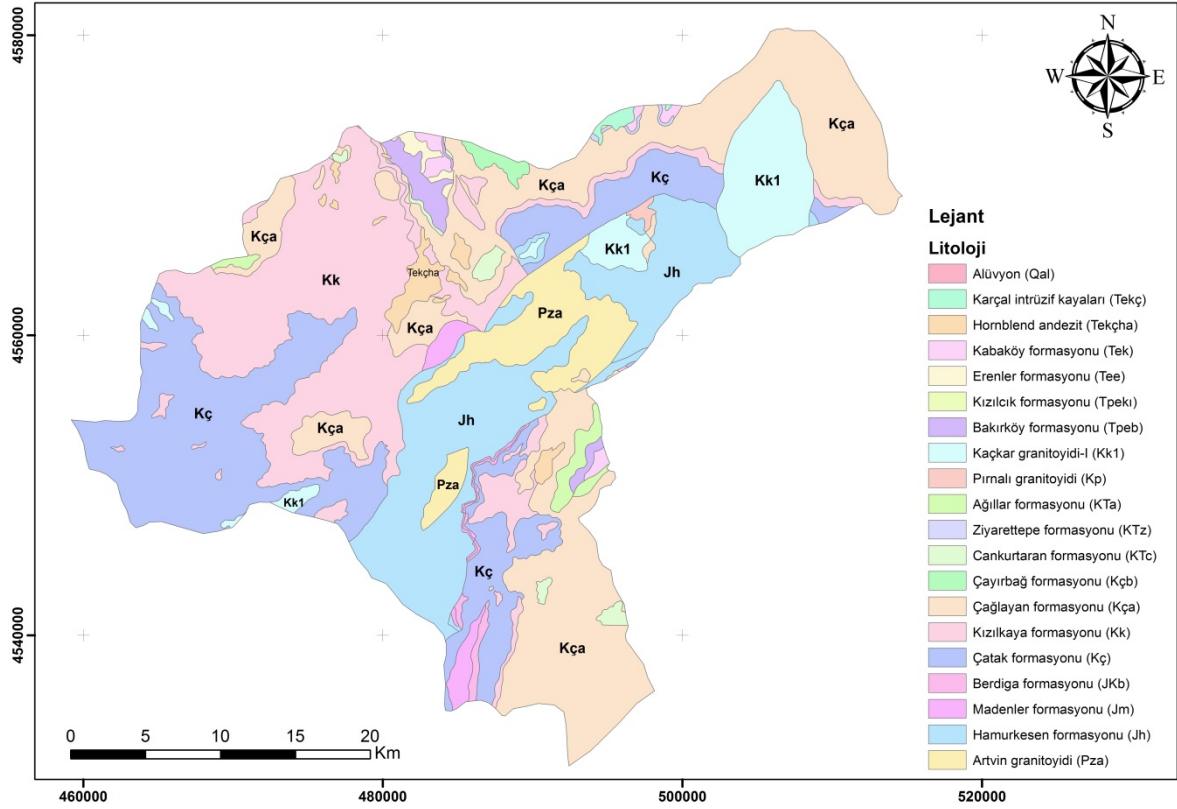
Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Artvin'in 2013 yılı toplam nüfusu 169334 tür. Çalışma alanını oluşturan Merkez ilçenin 2013 yılı toplam nüfusu 33415'dir. Nüfusun 25192'si ilçe merkezinde, 8223'ü ise belde ve köylerde ikamet etmektedir (TÜİK 2014).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü uzun yıllar (1960–2012) rasat verilerine göre, il genelinde aylık toplam yağış miktarı ortalaması 59.075 kg/m^2 ve ortalama sıcaklık $12.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. İl genelinde ortalama en düşük sıcaklık $-0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile Ocak ayında, ortalama en yüksek sıcaklık ise $25.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile Ağustos ayında görülmektedir (Yavuz Özalp ve ark. 2013).



2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

MTA Genel Müdürlüğünde temin edilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasına göre çalışma alanında 20 farklı litolojik birim belirlenmiştir (Şekil 5). Yılmaz ve ark. (1998) tarafından tanımlanan litolojik birimler aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 5. Çalışma alanının jeoloji haritası

Kabaköy Formasyonu (Tek): Kabaköy formasyonu, kırmızı bir çimento matriksi ile tutturulmuş iri çakıllı konglomera seviyesi ile başlar. Çakıllar çoğunlukla bazalt, dasit ve granitten oluşur. Konglomera seviyesinin üzerine kumtaşı ve bol nummilitli kireçtaşları gelir. Tam olarak 20-30 m. kadar bir kalınlık gösteren bu taban seviyesi üzerinde kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakalı andezit lav ve piroklastları yer alır.

Erenler Formasyonu (Tee): Formasyon çamurtaşı, kiltası, kumtaşı ardalanması ve olistostromal çökellerden oluşur.

Kızılıçık Formasyonu (Tpeki): Formasyon yeşilimsi ve gri renkli, orta-ince tabakalı karasal kırıntılı kayaçlar, kumtaşı ve marnlardan oluşmuştur. Alt seviyelerde kumtaşı ve konglomeralardan oluşan regresif bir sekans izlemektedir.

Bakırköy Formasyonu (Tpeb): Formasyon genellikle killi kireçtaşı, marn, şeyl ve az oranda da kumtaşlarından oluşmuştur.

Kaçkar Granitoyidleri (Kk1): Kaçkar granitoyidleri farklı mağmasal evrelerde Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı volkano-tortul istiflere sokulum yapmıştır. Liyas volkanitleri (Hamurkesen formasyonu) ile Üst Kretase volkanitlerinin (Çatak formasyonu)

içine sokulum yapan granitoyidler Kaçkar Granitoyidi I, Eosen volkanitlerinin (Kabaköy formasyonu) içine sokulum yapan granitoyidler ise Kaçkar Granitoyidi II olarak adlandırılmaktadır

Ağıllar Formasyonu (KTa): Birim gri-beyaz renkli kumlu ve resifal kireçtaşlarından oluşur. Bakırköy formasyonu ile aynı stratigrafik konumda yer alır.

Ziyarettepe Formasyonu (Ktz): Formasyon resifal kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, hemipelajik kireçtaşı ve konglemeradan oluşur.

Cankurtaran Formasyonu (KTc): Formasyon kumlu kireçtaşı, mikritik kireçtaşı ve kırıntılı kayaçlardan oluşmuştur.

Çayırbağ Formasyonu (Kçb): Bu birim fazla yaygın olmayan riyolit ve riyodasitik karakterli lav ve piroklastlarından meydana gelmiştir. Lavlarda prizmatik kolan yapıları ve akışkan (flüvdal) yapılar görülür.

Çağlayan Formasyonu (Kça): Formasyon genellikle gri-yeşil renkli andezit, bazalt, bazalt lav ve piroklastları ile birlikte ara tabakalı olarak bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur.

Kızılkaya Formasyonu (Kk): Formasyon gri beyaz renkli riyodasitik-dasitik karakterli lav ve piroklastlarından oluşur.

Çatak Formasyonu (Kç): Çatak formasyonu gri-yeşil renkli andezit, andezitik bazalt lav ve piroklastları ile ara tabakalı bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı silttaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur.

Berdiga Formasyonu (JKb): Formasyon gri- beyaz ve krem renkli resifal kireçtaşları, orta kalınlıkta tabakalanmalı killi kireçtaşı ve sileks yumrulu kireçtaşlarından oluşur.

Madenler Formasyonu (Jm): Madenler formasyonu çeşitli kalınlıklarda (0.3-50 m. arasında) resifal kireçtaşı ara tabakalarıyla yer yer bazalt lav ve piroklastları da içeren çoğunlukla kırmızı-mor renkli konglomera ve kumtaşlarından oluşur.

Hamurkesen Formasyonu (Jh): Formasyon bazalt-andezit lav ve piroklastlarının kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı, radyolarit ve şeyl ara tabakalarıyla birlikte ardalanmasından oluşur.

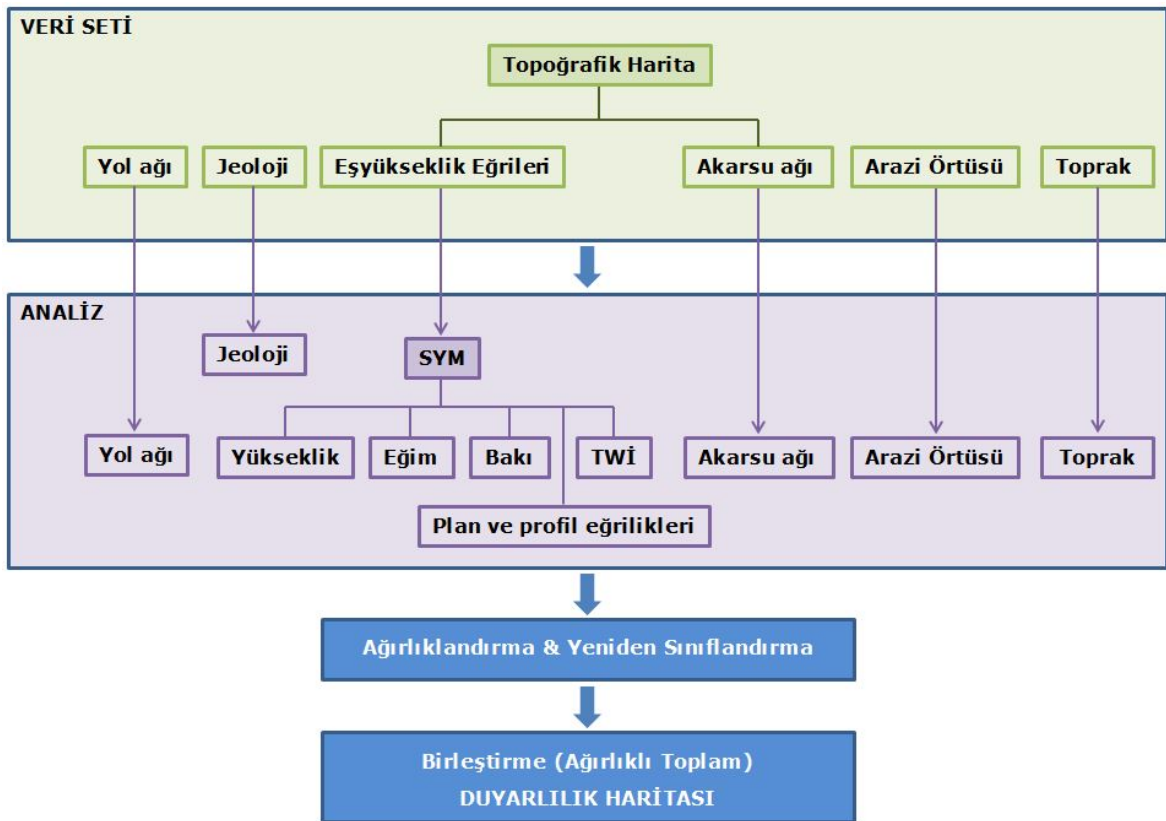
Artvin Granitoyidi (Pza): Çoğunlukla holokristalen dokulu ve dinamik etkiler sonucu yer yer hafif yönlü bir yapı kazanan, genelde granodiyoritik bileşimli magmatik kayalar Artvin granitoyidi olarak tanımlanmıştır (Konak ve Hakyemez 2009).

Alüvyon (Qal): Günümüz akarsu yataklarında dolgulanan çakıl, blok, kum, silt, kil gibi çok çeşitli boyutlarda tutturulmamış çökeltilerdir. Çoruh Nehri ile Oltu, Tortum ve Barhal çayları boyunca en yaygın örneklerini sunar (Konak ve Hakyemez 2009).

2.3. Çalışma Yöntemi

Proje kapsamında gerçekleştirilen heyelan duyarlılık analizlerinde; yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, litoloji, arazi örtüsü, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), toprak derinliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri kullanılmıştır. Yükseklik, eğim, bakı, eğrilik ve TWI haritaları, 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritalardan üretilmiştir. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli sayısal heyelan envanter haritaları ile analog ortamdaki jeoloji haritaları MTA Genel Müdürlüğü'nden, yol ağı verisi navigasyon cihazları için güncel yol verilerini toplayan Başarsoft CBS firmasından, arazi örtüsü verisi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan ve toprak haritaları da Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM)'nden sayısal olarak temin edilmiştir. Akarsu ağı 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan sayısallaştırma yapılarak üretilmiştir.

Elde edilen tüm haritalar CBS ortamına aktarıldıktan sonra, sırasıyla heyelan envanter haritası ile değerlendirilmiş ve her bir katmanın alt kategorilerinin heyelanlarla olan ilişkileri tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler ve izlenen yöntem genel hatları ile Şekil 6.da gösterilmiş ve ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 6. Çalışmada kullanılan veriler ve izlenen adımlar

2.4. Verilerin Temini ve Hazırlanması

Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken, heyelana neden olan birçok parametre kullanılmaktadır. Aşağıda, proje kapsamında kullanılan parametreler ve bu parametrelerle ilgili konumsal verilerin hangi kurumlardan temin edildiği veya hangi veri setinden nasıl üretilerek uygulamada kullanıldığı açıklanmıştır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin ilk adımı, geçmişte meydana gelen heyelanlar hakkında bilgi edinmektir. Çünkü gelecekteki heyelanların şimdiki ve geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır (Varnes 1984; Carrara ve ark. 1995; Lee ve ark. 2004; Yalçın 2007a; Erenner ve Düzgün 2007; Reis ve ark. 2009; Kumtepe ve ark. 2009). Bu nedenle, heyelan duyarlılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan en önemli verilerin başında, “*heyelan envanter haritaları*” gelmektedir. Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım ve özelliklerinin gösterildiği haritalardır. Bu haritalar, arazide fark edilebilir heyelanları göstermektedir (Hansen 1984; Wiczorek 1984; Einstein 1988; Van Westen 1994; Parise 2001; Griffiths ve ark. 2002; Çevik ve Topal 2003; Yalçın 2007a; Reis ve ark. 2009). Bu çalışmada, MTA tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal heyelan envanter haritaları kullanılmıştır.

Litoloji, heyelan oluşumunu etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir (Kumtepe ve ark. 2009) ve heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynar. Çünkü farklı litolojik birimler, heyelanlar gibi aktif jeomorfolojik süreçler için farklı duyarlılıklara sahiptir. Jeomorfolojik süreçler, kısmen litolojiye ve litolojiyi oluşturan temel malzemelerin ayrışma özelliklerine bağlıdır (Pachauri ve ark. 1998; Dai ve ark. 2001, Çevik ve Topal 2003). Çalışma alanındaki litolojik birimler, MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritalarından elde edilmiştir.

Heyelan duyarlılık analizlerinin en önemli bileşeni eğim açısidir (Lee ve Min 2001; Dai ve ark. 2001). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik birçok çalışmada eğim açısının öncelikli olarak dikkate alındığı görülmektedir (Lee ve Min 2001; Dai ve ark. 2001; Saha ve ark. 2002; Çevik ve Topal 2003; Ercanoğlu ve ark. 2004; Yalçın 2008; Yılmaz 2009; Erenner ve Düzgün 2010, Akıncı ve ark. 2010). Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir (Yalçın 2007a). Bu nedenle, ArcGIS 10.0 CBS yazılımında eşyükseklik eğrileri kullanılarak çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Üretilen SYM, 10m x 10m hücre boyutlu ESRI GRID formatına dönüştürülmüş ve çalışma alanının eğim haritası üretilmiştir. 5° aralıklarla yeniden sınıflandırılan eğim haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak her bir eğim grubuna karşılık gelen heyelanların yüzde olarak dağılımları tespit edilmiştir (Tablo 1). Çalışma alanındaki maksimum eğimin 89 derece olduğu ve eğim değerlerine göre en fazla heyelanın %21.78’lik oranla 15-20° eğim grubunda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğim gibi bakı da önemli faktörlerdendir (Saha ve ark. 2002; Çevik ve Topal 2003; Ercanoğlu ve ark. 2004; Lee ve ark. 2004). Bakı, heyelanların oluşumunu kontrol edebilen süresizlikler, yağış, rüzgar etkisi ve güneş ışığına maruz kalma gibi parametrelerle ilişkilidir (Dai ve ark. 2001, Çevik ve Topal 2003). Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısının, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doyunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001). Çalışmada bakı ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla SYM’den çalışma alanının bakı haritası üretilmiştir. Bakı haritası, dokuz sınıfa ayrılmış ve her bir bakı grubundaki heyelan

varlığı yüzdesi hesaplanmıştır (Tablo 1). Buna göre çalışma alanındaki heyelanların %18,02'sinin kuzey, %17,72'sinin kuzeydoğu ve %15,21'inin doğu bakıya sahip yamaçlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir diğer parametrede yüksekliktir (Juang ve ark. 1992; Pachauri ve Pant 1992; Çevik ve Topal 2003; Ercanoğlu ve ark. 2004). Çalışma alanındaki heyelan-yükseklik ilişkisini tespit etmek amacıyla SYM kullanılarak alanın yükseklik haritası üretilmiştir. Çalışma alanında yükseklikler 125–3195 m arasında değişmektedir. Yükseklik değerleri 250m aralıklarla 9 kategoriye ayrılmış ve heyelan-yükseklik ilişkisi tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanların, en çok %21,88'lik oranla 1250-1500 m yükseklik değerlerine sahip alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo1. Heyelanı etkileyen parametrelerin frekans oranları ve bayes ağırlıkları

Parametre	Alt Kategori	Kategorideki Hücre Sayısı	Heyelanlı Hücre Sayısı	HVY (%)	AKY (%)	FO	W+	W-	C
Yükseklik	125-250	136264	1320	0.96	1.19	0.812	-0.2106	0.0023	-0.2129
	250-500	612915	6307	4.60	5.34	0.862	-0.1496	0.0078	-0.1574
	500-750	971470	17107	12.48	8.46	1.476	0.3950	-0.0455	0.4405
	750-1000	1330254	21385	15.60	11.58	1.347	0.3024	-0.0471	0.3495
	1000-1250	1613535	22350	16.31	14.05	1.161	0.1512	-0.0270	0.1782
	1250-1500	1832425	29984	21.88	15.95	1.371	0.3204	-0.0740	0.3943
	1500-1750	1740337	15128	11.04	15.15	0.729	-0.3200	0.0479	-0.3679
	1750-2000	1313878	1685	1.23	11.44	0.107	-2.2411	0.1105	-2.3516
	>2000	1935029	21776	15.89	16.85	0.943	-0.0591	0.0116	-0.0707
Eğim	0-5	146606	3305	2.41	1.28	1.889	0.6471	-0.0117	0.6588
	5-10	170422	9728	7.10	1.48	4.784	1.6121	-0.0594	1.6715
	10-15	398438	24599	17.95	3.47	5.175	1.6955	-0.1643	1.8598
	15-20	714533	29852	21.78	6.22	3.502	1.2839	-0.1835	1.4674
	20-25	1184574	24688	18.01	10.31	1.747	0.5668	-0.0908	0.6577
	25-30	1875743	18604	13.58	16.33	0.831	-0.1868	0.0328	-0.2196
	30-35	2523592	13829	10.09	21.97	0.459	-0.7846	0.1436	-0.9281
	35-40	2361946	8263	6.03	20.56	0.293	-1.2353	0.1702	-1.4056
	40-45	1346158	3025	2.21	11.72	0.188	-1.6792	0.1036	-1.7829
	> 45	764095	1149	0.84	6.65	0.126	-2.0817	0.0612	-2.1429
Bakı	Düz	76257	374	0.27	0.66	0.411	-0.8961	0.0040	-0.9001
	Kuzey	1328075	24698	18.02	11.56	1.559	0.4506	-0.0767	0.5273
	Kuzeydoğu	1377366	24284	17.72	11.99	1.478	0.3963	-0.0681	0.4644
	Doğu	1551431	20844	15.21	13.51	1.126	0.1203	-0.0201	0.1404
	Güneydoğu	1542327	16125	11.77	13.43	0.876	-0.1336	0.0192	-0.1528
	Güney	1506585	10610	7.74	13.12	0.590	-0.5321	0.0608	-0.5929
	Güneybatı	1352142	10014	7.31	11.77	0.621	-0.4814	0.0500	-0.5314
	Batı	1419741	13996	10.21	12.36	0.826	-0.1929	0.0245	-0.2175
Kuzeybatı	1332183	16097	11.75	11.60	1.013	0.0128	-0.0017	0.0145	

Tablo 1'in devamı

Parametre	Alt Kategori	Kategorideki Hücre Sayısı	Heyelanlı Hücre Sayısı	HVY (%)	AKY (%)	FO	W+	W-	C
Plan Eğriliği	<0	5419229	70062	51.12	47.18	1.084	0.0813	-0.0785	0.1598
	0	161339	1914	1.40	1.40	0.994	-0.0058	0.0001	-0.0059
	>0	5905539	65066	47.48	51.41	0.923	-0.0806	0.0789	-0.1594
Profil Eğriliği	<0	5734102	65289	47.64	49.92	0.954	-0.0473	0.0451	-0.0924
	0	105841	970	0.71	0.92	0.768	-0.2666	0.0022	-0.2688
	>0	5646164	70783	51.65	49.16	1.051	0.0501	-0.0509	0.1010
TWi	0.01-5	415078	1121	0.82	3.61	0.226	-1.4949	0.0289	-1.5239
	5-10	10389035	118859	86.73	90.45	0.959	-0.0425	0.3334	-0.3759
	10-15	579791	15923	11.62	5.05	2.302	0.8495	-0.0726	0.9221
	15-20	89489	1093	0.80	0.78	1.024	0.0237	-0.0002	0.0239
	20-25	10532	42	0.03	0.09	0.334	-1.1039	0.0006	-1.1045
	25-29	2182	4	0.00	0.02	0.154	-1.8833	0.0002	0.0000
Akarsuya Yakınlık	0-50	1196792	7399	5.40	10.42	0.518	-0.6633	0.0552	-0.7185
	50-100	1014620	7107	5.19	8.83	0.587	-0.5376	0.0397	-0.5773
	100-150	958409	6915	5.05	8.34	0.605	-0.5077	0.0358	-0.5435
	150-200	898669	6159	4.49	7.82	0.574	-0.5595	0.0359	-0.5954
	200-250	837288	5954	4.34	7.29	0.596	-0.5224	0.0317	-0.5540
	250-500	3248635	34948	25.50	28.28	0.902	-0.1047	0.0385	-0.1432
	500-750	1835008	33564	24.49	15.98	1.533	0.4337	-0.1081	0.5418
	750-1000	844452	21094	15.39	7.35	2.094	0.7522	-0.0918	0.8440
	>1000	652234	13902	10.14	5.68	1.786	0.5898	-0.0491	0.6389
Yola Yakınlık	0-50	863692	19004	13.87	7.52	1.844	0.6223	-0.0719	0.6942
	50-100	618782	12583	9.18	5.39	1.704	0.5417	-0.0414	0.5832
	100-150	529476	10032	7.32	4.61	1.588	0.4696	-0.0292	0.4988
	150-200	463015	7938	5.79	4.03	1.437	0.3678	-0.0187	0.3865
	200-250	408478	5845	4.27	3.56	1.199	0.1842	-0.0075	0.1916
	250-500	1557916	20756	15.15	13.56	1.117	0.1117	-0.0187	0.1304
	500-750	1148811	12516	9.13	10.00	0.913	-0.0919	0.0097	-0.1016
	750-1000	904112	9285	6.78	7.87	0.861	-0.1516	0.0120	-0.1636
	>1000	4991825	39083	28.52	43.46	0.656	-0.4254	0.2377	-0.6631
Arazi Örtüsü	1	58484	3805	2.78	0.51	5.453	1.7514	-0.0233	1.7748
	2	1024382	65625	47.89	8.92	5.369	1.7349	-0.5635	2.2984
	3.1	6616971	31255	22.81	57.61	0.396	-0.9339	0.6093	-1.5432
	3.2	2497449	24212	17.67	21.74	0.813	-0.2098	0.0514	-0.2612
	3.3	1209458	12145	8.86	10.53	0.842	-0.1743	0.0187	-0.1930
	5.1	79363	0	0.00	0.69	0.000	0.0000	0.0070	0.0000
Toprak Derinliği	Diğer	443036	0	0.00	3.86	0.000	0.0000	0.0398	0.0000
	90-50	560227	52335	38.19	4.88	7.830	2.1440	-0.4353	2.5793
	50-20	4500577	62701	45.75	39.18	1.168	0.1570	-0.1156	0.2727
	20-0	5774079	21872	15.96	50.27	0.317	-1.1555	0.5331	-1.6886
	litozolik	208188	134	0.10	1.81	0.054	-2.9311	0.0175	-2.9486

Tablo 1'in devamı

Parametre	Alt Kategori	Kategorideki Hücre Sayısı	Heyelanlı Hücre Sayısı	HVY (%)	AKY (%)	FO	W+	W-	C
Jeoloji (Litoloji)	Jh	1683107	7260	5.30	14.65	0.362	-1.0251	0.1053	-1.1304
	JKb	54897	1550	1.13	0.48	2.366	0.8780	-0.0067	0.8847
	Jm	131862	2245	1.64	1.15	1.427	0.3607	-0.0050	0.3658
	Kç	2364119	4616	3.37	20.58	0.164	-1.8201	0.1988	-2.0189
	Kça	2869518	67738	49.43	24.98	1.979	0.6942	-0.3983	1.0925
	Kçb	47736	0	0.00	0.42	0.000	0	0.0042	0.0000
	Kk	2387109	36852	26.89	20.78	1.294	0.2612	-0.0812	0.3424
	Kkl	679821	0	0.00	5.92	0.000	0	0.0618	0.0000
	Kp	18330	0	0.00	0.16	0.000	0	0.0016	0.0000
	KTa	101762	2722	1.99	0.89	2.242	0.8224	-0.0113	0.8337
	KTc	77409	524	0.38	0.67	0.567	-0.5720	0.0030	-0.5749
	KTz	11888	0	0.00	0.10	0.000	0	0.0010	0.0000
	Pza	639780	0	0.00	5.57	0.000	0	0.0580	0.0000
	Qal	212	0	0.00	0.00	0.000	0	0.0000	0.0000
	Tee	40389	675	0.49	0.35	1.401	0.3419	-0.0014	0.3433
	Tek	69017	0	0.00	0.60	0.000	0	0.0061	0.0000
	Tekç	26173	0	0.00	0.23	0.000	0	0.0023	0.0000
	Tekçha	159615	2951	2.15	1.39	1.550	0.4446	-0.0079	0.4525
	Tpeb	122747	9909	7.23	1.07	6.766	1.9841	-0.0651	2.0492
	Tpekı	616	0	0.00	0.01	0.000	0	0.0001	0.0000
TOPLAM	11486107^(B)	137042^(A)							

Eğrilik değerleri topoğrafyanın morfolojik yapısını göstermektedir (Lee ve Min 2001; Erener ve Düzgün 2010). Eğrilik haritaları, SYM'nin ikinci türevi olarak elde edilirler diğer bir deyişle, eğimdeki değişimi gösterirler (Erener ve Düzgün 2010). Pozitif eğrilik, bir hücrede yüzeyin yukarıya doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrilik ise yüzeyin o hücrede yukarı doğru içbükey, sıfır değeri ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder. Plan eğriliği topoğrafik konverjans (akışın toplandığı) ve diverjans (akışın dağıldığı) alanlarını ortaya koyarak yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. Negatif değerli plan eğriliği akışın toplandığını, pozitif değerler dağıldığını belirtir. Bu değerlerden akarsu ve sırtlar çıkarılabilir. Profil eğriliği ise suyun yüzeydeki akış hızı ve sedimentlerin yamaç boyunca taşınımı ve böylece gelişen erozyonu, eğim değişim oranını ifade ederek ortaya koyar. Profil bileşeni negatif ise konkav-içbükey (çukur), pozitif değerler ise konveks-dışbükey (tepe) yapıyı gösterir (Kılıç ve Gökaşan 2009). Çalışma alanının plan ve profil eğriliği haritaları SYM'den üretilmiştir.

Yamaçların stabilitesini kontrol eden parametrelerin en önemlilerinden birisi de yamaçlardaki malzemenin doygunluk derecesidir. Yamaçların drenaj ağlarına yakınlığı da stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Akarsular, yamaç ya da şevleri ya topuktan aşındırma şeklinde ya da yamaçları oluşturan malzemenin akarsu seviyesine kadar olan kısmını suya doyurma veya her iki şekilde de etkileyerek stabiliteyi bozmaktadır (Saha ve ark. 2002; Yalçın 2008). Çalışma alanında devamlı akış gösteren akarsular, 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan sayısallaştırılarak CBS veritabanına aktarılmış ve ilgili CBS analiz rutinleri kullanılarak akarsulara ait yakınlık haritası üretilmiştir.

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir (Pachauri ve ark. 1998; Yalçın 2008). Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının gelişmesine neden olmaktadır. Yol açılmadan önce dengede olan yamaçta, daha sonra dışarıdan gelebilecek su girişi gibi negatif etkilerle duraysızlıklar meydana gelmektedir. Çalışma alanındaki yol ağı, Türkiye’de navigasyon cihazları için güncel yol verilerini toplayan Başarsoft firmasından sayısal olarak temin edilmiştir.

Arazi örtüsü, yamaçların stabilite halinde olduğunun dolaylı bir ifadesidir. Kıraç ve nadir arazi örtüsü ile kaplı alanlar daha hızlı erozyon ve ormanlara göre daha büyük duraysızlıklar göstermektedir. Bazı araştırmalarda (Yalçın 2007b; Reis ve ark. 2009) yamaç duyarlılığında arazi örtüsünün çok önemli yer tuttuğu ortaya konulmuştur. Bu nedenle projede, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan temin edilen CORINE2006 arazi örtüsü verisi kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan parametrelerden biride toprak derinliğidir (Blesius ve Weirich 2009; Sharma ve ark. 2009; Wati ve ark. 2010). Toprak derinliği heyelan oluşumuna genel olarak iki şekilde etki ekmektedir. Birincisi, toprak derinliğine bağlı olarak ana kaya üzerindeki materyalin kütlesi ve dolayısıyla ağırlığı artmaktadır. Bu nedenle, toprak derinliği fazla olan eğimli alanlar, yer çekiminin de etkisiyle, heyelana karşı daha duyarlıdırlar. Toprak derinliğinin heyelanlar üzerindeki diğer etkisi ise üst toprak materyalinin nem tutma özelliğine dayanmaktadır. Sığ toprak tabakalarına sahip eğimli araziler, yüzeysel akış nedeniyle, erozyona daha duyarlı iken derin toprak tabakasına sahip araziler heyelana daha duyarlı olmaktadır. Bu projede, TRGM’den temin edilen sayısal toprak haritaları kullanılarak çalışma alanının toprak derinlik haritası üretilmiştir.

Bir sahadaki jeolojik malzemenin doygunluğuna ilişkin yorumlarda kullanılan göstergelerden birisi “topoğrafik nemlilik indeksi”dir (Moore ve ark. 1991). Topoğrafik nemlilik indeksi çalışılan bölgenin suya doygunluğunu alansal ölçüde boyutlandırmaktadır. Suyun malzeme içerisine süzülmesi, hem malzeme içerisinde gözenek suyu basınçlarının artmasına hem de malzemenin dayanımının azalmasına neden olmaktadır (Gökçeoğlu ve ark. 2005). Bu nedenle, SYM kullanılarak çalışma alanındaki akış yönü ve akış yoğunluğu hesaplanmış ve sahanın bağıl topoğrafik nemlilik indeksi haritası oluşturulmuştur.

2.5. Frekans Oranı Metodu Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

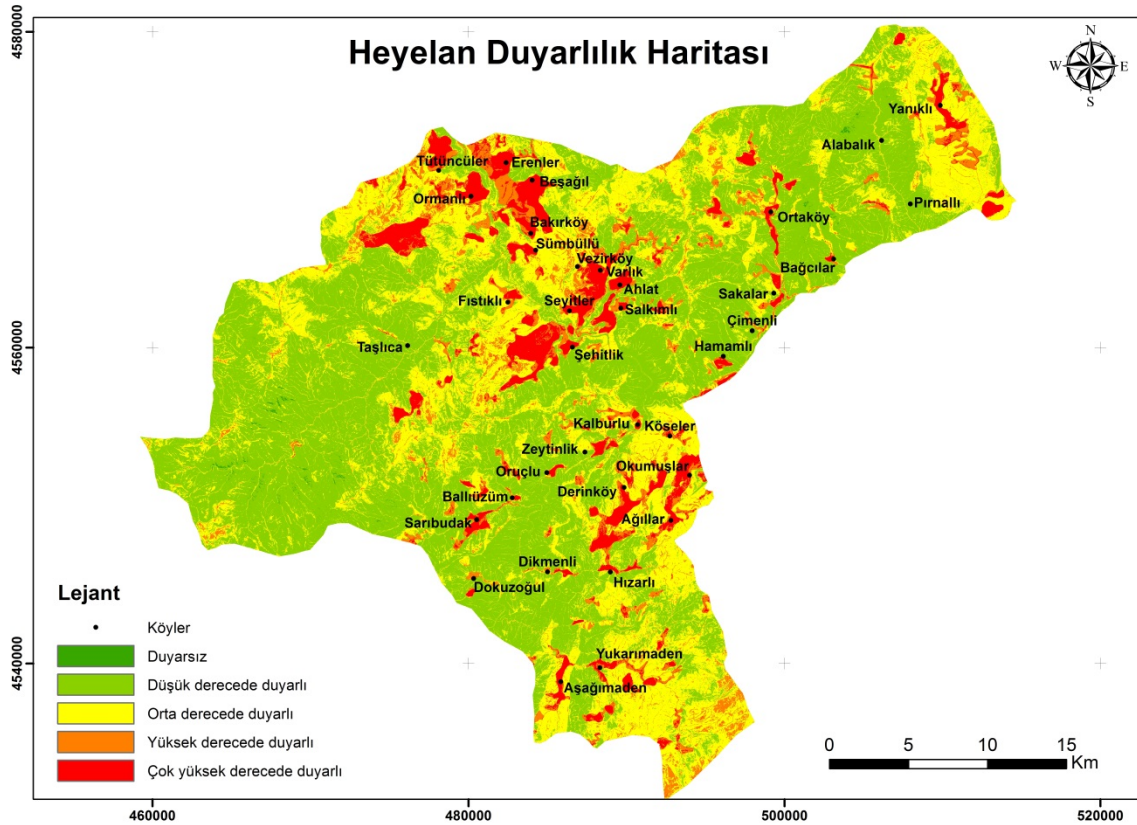
Frekans oranı metodu, geçmiş heyelan konumları ile heyelanı etkileyen her bir faktörün korelasyonunu araştırmak için kullanılmaktadır (Lee ve Min 2001; Lee ve ark. 2004; Erener ve Düzgün 2010). Bu nedenle, heyelanı etkileyen her bir faktör alt kategorilere ayrılır ve her bir faktörün her bir alt kategorisindeki frekans oranı hesaplanır (Erener ve Lacasse 2007). Frekans oranları hesabı için

$$\text{Frekans Oranı (FO)} = \frac{HVY}{AKY} \quad (1)$$

formülü kullanılmaktadır. Burada *HVY*, heyelanı etkileyen bir faktörün her bir alt kategorisi içindeki “*heyelan varlığının yüzdesi*”, *AKY* ise heyelanı etkileyen bir faktörün her bir “*alt kategorisinin yüzdesi*”dir. Frekans oranı hesap tablosunda *HVY*, *HHS/A* ve *AKY*

ise *KHS/B* şeklinde hesaplanır. Bu bağıntılardaki *HHS*, her bir alt kategorideki heyelanlı hücre sayısını, *A* çalışma alanındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, *KHS* her bir alt kategorideki toplam hücre sayısını, *B* ise çalışma alanındaki toplam hücre sayısını ifade etmektedir. Hesaplanan frekans oranı değerlerinden 1'den büyük olanlar yüksek korelasyonu, 1'den düşük olanlar ise düşük korelasyonu göstermektedir.

Frekans oranı metodu ile duyarlılık haritalarının üretilmesinde, heyelanı etkileyen her bir faktörün alt kategorileri için hesaplanan frekans oranları dikkate alınmaktadır (Erener ve Düzgün 2007; Erener ve Lacasse 2007; Reis ve ark. 2009). Her bir kategori için hesaplanan frekans oranları ArcGIS 10.0 ortamında ilgili katmana atanmış, daha sonra tüm katmanlar üst üste çakıştırılarak heyelan duyarlılık indeksi (LSI) bulunmuştur. Heyelan duyarlılık indeksi 4.9–36.004 aralığında değişmektedir. Toplam frekans değeri daha sonra “duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” alanları belirlemek amacıyla 5 sınıfa ayrılmış ve Şekil 7.de gösterilen duyarlılık haritası elde edilmiştir.



Şekil 7. Frekans oranı metoduna göre üretilen heyelan duyarlılık haritası

2.6. Lojistik Regresyon Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

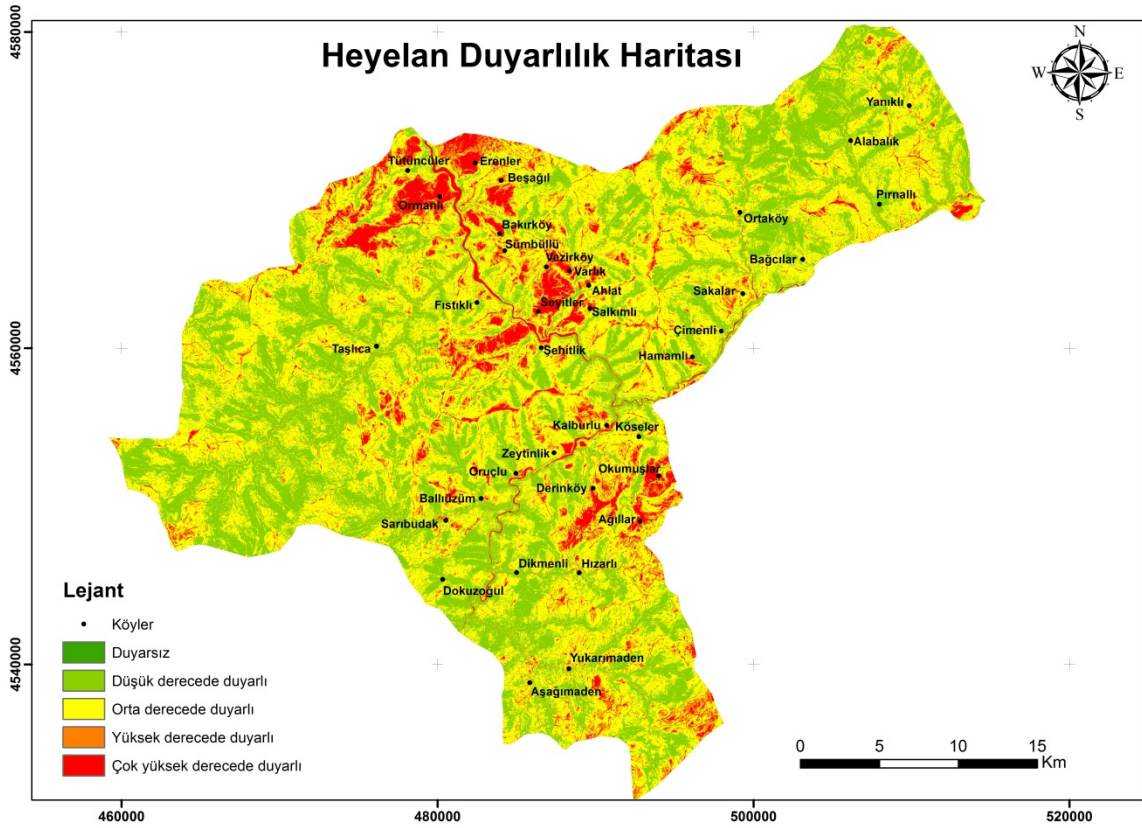
Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında uygulanan ikinci yöntem lojistik regresyon yöntemidir. Bu yöntem, istatistiksel olarak duyarlılık haritası oluşturmak için uygulanan en yaygın yöntemlerden biridir (Dai ve ark. 2001; Lee ve Min 2001; Lee ve ark. 2004; Guzetti ve ark. 2005; Yesilnacar ve Topal 2005; Ayalew ve Yamagishi 2005; Zhu ve Huang 2006). Lojistik regresyon yöntemi bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken olan heyelan arasındaki ilişkiye bakmakta ve gelecekte olabilecek heyelan alanları için bu ilişkiyi kullanmaktadır (Ohlmacher ve Davis 2003). Lojistik regresyon analizi, bağımlı bir

değişken ile bağımsız birden fazla değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi esasına dayanır. Lojistik regresyon yöntemi aşağıdaki lineer eşitlikle tanımlanmaktadır:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (2)$$

Bu eşitlikteki Y , 0 ve 1 aralığındaki bağımlı değişkeni, b_0 bağımsız değişkenlerin sıfır değerini aldıklarındaki bağımlı değişken değeri ya da sabiti, b_1, \dots, b_n bağımsız değişkenlerin regresyon katsayıları ve x_1, \dots, x_n ise bağımsız değişkenleri göstermektedir. Heyelan envanter haritasındaki mevcut heyelan alanları bağımlı değişkenleri, heyelan olayına sebep olan faktörler ise bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Her bir regresyon katsayısı risk faktörünün sonuca olan katkısının büyüklüğünü ifade etmektedir. Pozitif regresyon katsayısı sonuç olasılığının arttığını ve doğru orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu gösterir. Negatif bir regresyon katsayısı ise sonuç olasılığının azaldığını ve ters orantılı bir ilişkiye sahip olduğunu gösterir. Artan bir regresyon katsayısı sonuç olasılık üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu gösterirken regresyon katsayısı sıfıra yaklaştığında sonuç olasılık üzerindeki etkisinin az olduğunu gösterir (Kavzoğlu ve ark. 2012).

Çalışmada Idrisi Selva yazılımının “LOGISTICREG” modülü kullanılarak lojistik regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizinde, heyelan envanter haritasındaki mevcut heyelan alanları bağımlı değişken, heyelanı etkileyen faktörler bağımsız değişkenler olarak kullanılmış ve Şekil 8’deki heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.



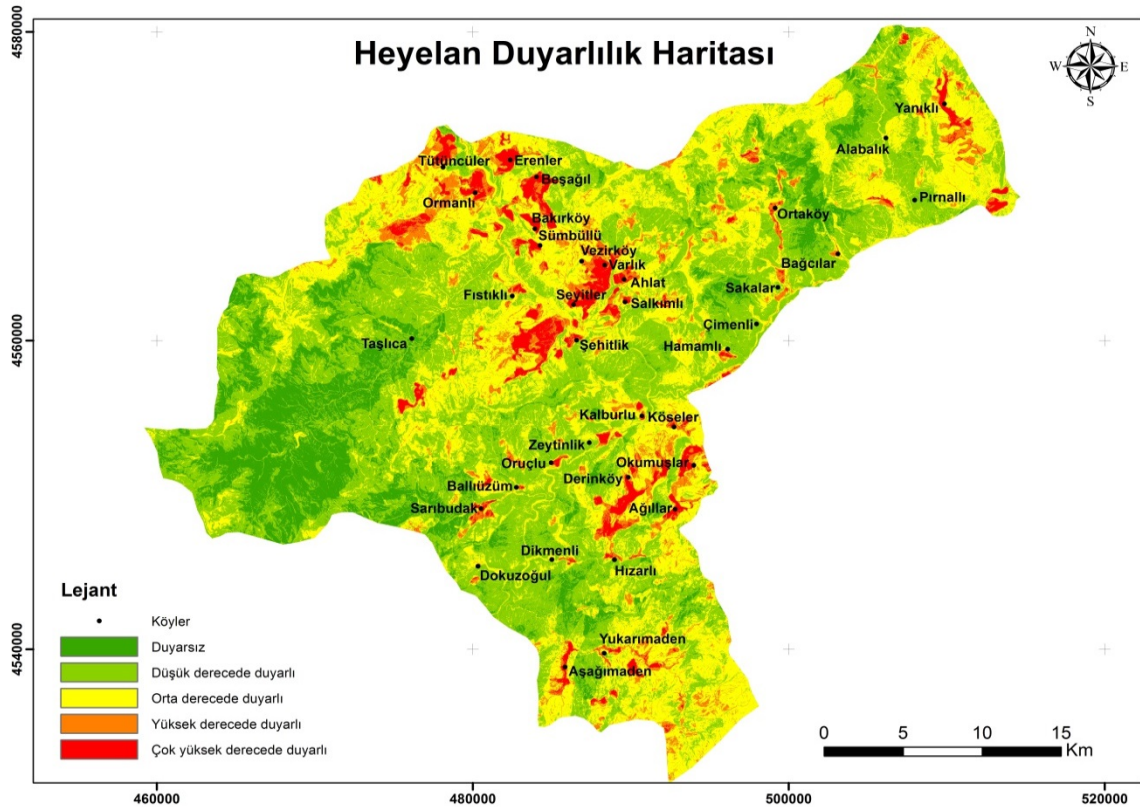
Şekil 8. Lojistik regresyon kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası

2.7. Bayes Olasılık Teoremi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Bayes teoremi, bir olayın gerçekleşme olasılığı ile ilgili öncül olasılık beklentilerinin, olayın gerçekleşmesi durumunda elde edilen yeni bilgilerle güncelleştirilerek, soncul olasılıkların bulunmasını sağlayan bir olasılık teoremidir. Buna göre, bir bölgede heyelan riskinin tahmin edilmesi istendiğinde, bazı olası durumların belirlenmesi gerekir. Bunun için, seçilen bir çalışma alanında heyelan olayıyla ilgili şu durumların var olabileceği açıktır. Seçilen alan gerçekten heyelan alanı olabilir ve bu alanla ilgili iki tahmin yapılabilir. Gelecekte burada tekrar heyelan olacağı ya da olmayacağı söylenebilir. Seçilen alan, gerçekte heyelan alanı olmayabilir ve bu alan için de gelecekle ilgili iki tahmin söz konusudur (Doğan ve ark. 2012).

Bu durumları olasılık önermeleri şeklinde ifade etmek için koşullar kullanılır. Seçilen alanın, geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olması durumunda, gelecekte de heyelan olma olasılığı $P(A|H)$ nedir? Seçilen alanın geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olmaması durumunda, gelecekte heyelan olma olasılığı $P(A|\text{not}H)$ nedir? Seçilen alanın geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olması durumunda, gelecekte heyelan olmama olasılığı $P(\text{not}A|H)$ ve benzer şekilde $P(\text{not}A|\text{not}H)$ olasılıklarının sonuç kararda etkili olması gerektiği açıktır (Doğan ve ark. 2012).

Bu olasılıkları, olasılık aksiyomlarına uygun olarak birlikte değerlendirerek soncul olasılık değerleri Bayes Teoremi ile hesaplanabilmektedir. Seçilen alanın gelecekte heyelanla karşılaşacağını öngören tahminler pozitif bir ağırlıkla, tersi ise negatif bir ağırlıkla ifade edilebilir. Bu yaklaşıma “weights of evidence (WoE)” model adı verilir (Doğan ve ark. 2012).



Şekil 9. Bayes olasılık modeli kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası

WoE modeli, Van Westen ve ark. (2003) ile Regmi ve ark. (2010) tarafından matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada, heyelanı etkileyen faktörlerin alt kategorilerinin ağırlıklarını hesaplamak için Regmi ve ark. (2010) tarafından önerilen, Özdemir ve Altural (2013) tarafından da kullanılan aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$W^+ = \ln \left[\frac{\frac{A_1}{A_1+A_2}}{\frac{A_3}{A_3+A_4}} \right] \quad (3)$$

$$W^- = \ln \left[\frac{\frac{A_2}{A_1+A_2}}{\frac{A_4}{A_3+A_4}} \right] \quad (4)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (5)$$

Bu formüllerde, A_1 seçilen bir alt kategorideki heyelanlı hücre sayısını, A_2 seçilen kategori dışındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, A_3 seçilen kategorideki heyelansız hücre sayısını ve A_4 seçilen kategori dışındaki toplam heyelansız hücre sayısını ifade etmektedir. Dolayısı ile (A_1+A_2) çalışma alanındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, (A_3+A_4) ise çalışma alanındaki toplam heyelansız hücre sayısını ifade etmektedir.

W^+ ve W^- ağırlıkları arasındaki fark ağırlıklar kontrastı (C) olarak adlandırılır ve heyelan olayı ile tahmin değişkeni arasındaki nihai konumsal ilişkiyi gösterir. Sıfıra eşit bir kontrast değeri heyelana neden olan faktörün alt kategorisinin analiz için önemli olmadığını gösterir. Pozitif kontrast pozitif bir konumsal ilişkiyi, negatif kontrast ise tersini ifade etmektedir (Corsini ve ark. 2009; Özdemir ile Altural 2013).

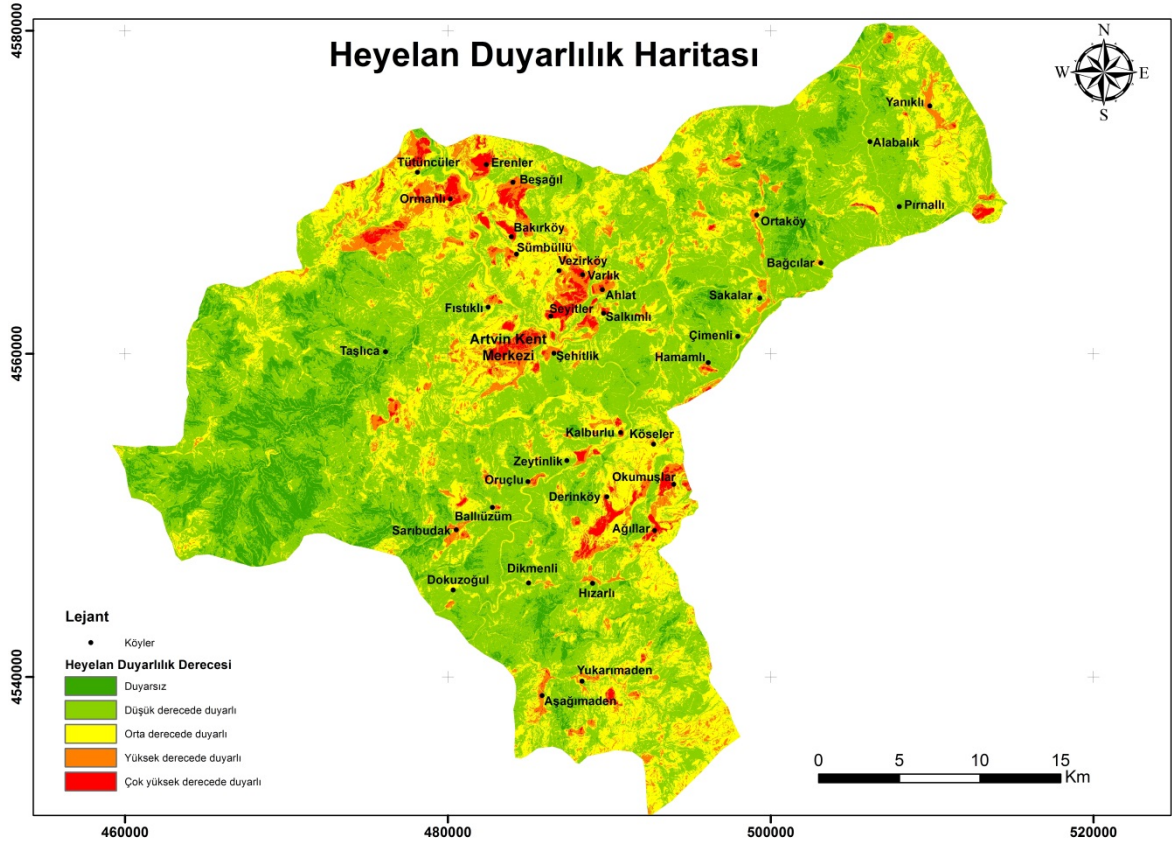
Çalışma alanında heyelanı etkileyen faktörlerin alt kategorilerine ait W^+ ve W^- ağırlıkları ile C kontrastları yukarıdaki formüller kullanılarak hesaplanmış (Tablo 1) ve bu ağırlıklar kullanılarak Şekil 9'da gösterilen heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

2.8. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Birleştirilmesi

Projede frekans oranı metodu, lojistik regresyon ve bayes olasılık modeline göre üretilen heyelan duyarlılık haritaları, ArcGIS 10.0 yazılımının Spatial Analyst modülündeki Raster Calculator fonksiyonu kullanılarak önce birbirleriyle toplanmış, sonra üçe bölünerek Şekil 10'da gösterilen bütünleşik heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bütünleşik heyelan duyarlılık haritası çalışma alanı için kullanılacak nihai heyelan duyarlılık haritasıdır. Söz konusu harita dikkate alınarak, Merkez İlçenin heyelan duyarlılık derecelerine göre alansal ve yüzde olarak dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma alanının duyarlılık derecelerine göre alansal ve yüzde olarak dağılımı

Duyarlılık Derecesi	Açıklaması	Alan (hektar)	Alan (%)
1	Duyarsız	10689.21	9.31
2	Düşük derecede duyarlı	61539.54	53.57
3	Orta derecede duyarlı	32534.90	28.33
4	Yüksek derecede duyarlı	7887.28	6.87
5	Çok yüksek derecede duyarlı	2210.93	1.92
TOPLAM		114861.86	100



Şekil 10. Bütünleşik heyelan duyarlılık haritası

2.9. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Doğruluk Değerlendirmesi

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğini test etmek için öncelikli olarak “doğru sınıflandırma yaklaşımı” kullanılmıştır. Doğru sınıflandırma yaklaşımı, kontrol veri setindeki heyelanlı alanların üretilen heyelan duyarlılık haritalarında yüzde kaç doğrulukla tahmin edildiğini göstermektedir. Bu amaçla, envanter haritasında yer alan ve kontrol amacıyla analizlere dahil edilmeyen heyelanlar ile duyarlılık haritaları karşılaştırılmış ve heyelanlı alanların duyarlılık sınıflarına göre dağılımları belirlenmiştir (Tablo 3).

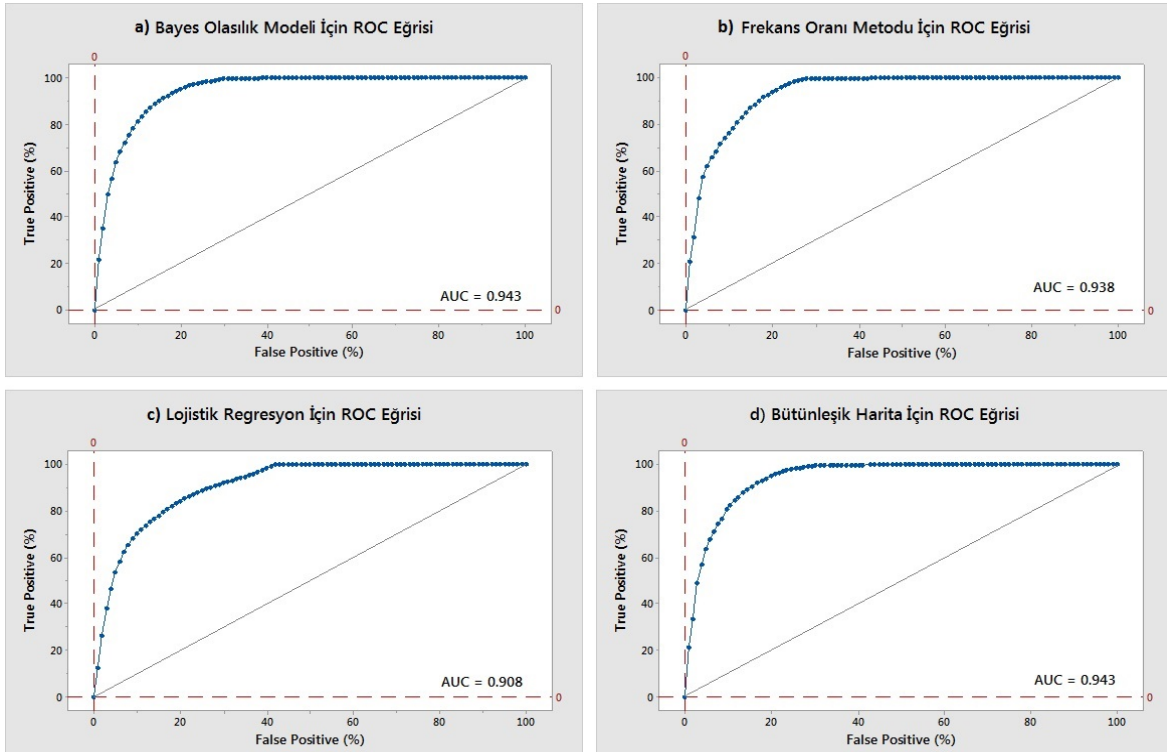
Çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesi amacıyla “ROC Eğrisi Altındaki Alan” (AUC: Area Under Curve) yaklaşımı da kullanılmıştır. ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflik (1-belirlilik) oranlarının yer aldığı bir eğridir (Dağdelenler 2013). Eğri Altındaki Alan (EAA) ise, bir olayın meydana gelme ya da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir (Yeşilnacar ve Topal 2005; Nandi ve Shakoor 2009; Yılmaz 2010; Akgün ve Türk 2010). EAA değerinin 1’e yakın olması modelin doğruluğunun yüksek, 0.5’e yakın olması ise modelin doğruluğunun oldukça düşük olduğunu göstermektedir (Fawcett 2006; Akgün ve Türk 2010).

Çalışmada İdrisi Selva Yazılımının ROC modülü kullanılarak kontrol veri seti ile ROC analizi yapılmış ve Minitab 17 yazılımı kullanılarak ROC eğrileri çizdirilmiştir (Şekil 11). ROC eğrisinin altında kalan alan bayes olasılık modeli kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası için 0.943, frekans oranı metodu kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık

haritası için 0.938, lojistik regresyon sonucu elde edilen duyarlılık haritası için 0.908 ve bütünleşik heyelan duyarlılık haritası için 0.943 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Heyelan duyarlılık haritalarının doğru sınıflandırma değerleri

Yöntem	Duyarlılık Derecesi	Heyelanlı Hücre Sayısı	Alan (%)	Orta, Yüksek ve Çok Yüksek Derecede Duyarlı Alan Yüzdesi
Frekans Oranı	1	0	0	6.13
	2	973	6.13	
	3	4423	27.89	93.87
	4	3517	22.18	
	5	6947	43.80	
Lojistik Regresyon	1	0	0	9.67
	2	1533	9.67	90.33
	3	4857	30.62	
	4	4299	27.11	
	5	5171	32.60	
Bayes Olasılık Modeli	1	0	0	5.44
	2	862	5.44	94.56
	3	5498	34.67	
	4	5238	33.03	
	5	4262	26.87	
Bütünleşik Heyelan Duyarlılık Haritası	1	0	0	12.02
	2	1906	12.02	87.98
	3	5330	33.61	
	4	5858	36.94	
	5	2766	17.44	
TOPLAM		15860	100	100



Şekil 11. Duyarlılık haritaların doğruluk değerlendirmesinde kullanılan ROC eğrileri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada elde edilen bulgulara göre genel olarak 2 konu üzerinde odaklanılmıştır. Bunlardan birincisi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemlerin kestirim (tahmin) yetenekleri, ikincisi ise çalışma alanında heyelana neden olan asıl faktörün (faktörlerin) belirlenmesi.

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde üç yöntem kullanılmış ve bu yöntemlerin kestirim (tahmin) yetenekleri “Eğri Altındaki Alan” (AUC: Area Under Curve) yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. ROC eğrilerine ve elde edilen AUC değerlerine göre, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk performanslarının kabul edilebilir seviyede olduğu, buna karşın en iyi performansın bayes olasılık modeli ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Literatürde aynı üç yöntem kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının üretildiği tek çalışmaya rastlanmıştır. Özdemir ve Altural (2013) tarafından Akşehir’de (Konya) yapılan çalışmada da frekans oranı metodu, lojistik regresyon ve bayes olasılık modeli kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Özdemir ve Altural (2013), üç yöntemin kestirim yeteneğini AUC değerleri ile değerlendirmiş ve 0.976 AUC değeri ile çalışma alanında frekans oranı metodunun en iyi sonucu verdiğini sonucuna ulaşımlardır. Çalışma alanlarındaki jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerin farklı olmasının ve Özdemir ve Altural (2013) tarafından yapılan çalışmada heyelanı etkileyen 18 parametrenin kullanılmasının kullanılan yöntemlerin kestirim performanslarını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Kütle hareketlerini oluşturan etkenler genel olarak, zemin koşulları, jeomorfolojik süreçler, fiziksel süreçler ve insan etkileri olmak üzere 4 grupta toplanmaktadır. Yapılan değerlendirmelerde, Artvin ili Merkez ilçedeki kütle hareketlerinin zemin koşullarından ve insan etkilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan faktörler (ve alt kategoriler) ile heyelan envanter haritasında yer alan heyelan alanları arasındaki Tablo 1’de verilen ilişki incelendiğinde heyelanların, litojik birimin özelliği gereği, %49.43 oranla çağlayan formasyonu ve %26.89 oranla kıvılcaya formasyonunu içeren sahalarda meydana geldiği görülmektedir. Üst kretase yaşlı bu iki formasyondaki heyelanlar, çalışma alanındaki toplam heyelanlı alanların % 76.32’sini oluşturmaktadır. Gökçe ve ark. (2008), bu bulguyu destekleyen tespitlerde bulunmuşlardır. Gökçe ve ark. (2008), Doğu Karadeniz’de kretase ve eosen volkaniklerinin heyelanların oluşumu için kaynak alanlar oluşturduğunu ve heyelanların Doğu Karadeniz’de Pontid Volkanizması sonucu oluşmuş eosen ve kretase volkanik kayaların yaygın olarak gözlemlendiği alanlarda daha çok akma türünde gözlemlendiğini dile getirmişlerdir.

Çalışma alanındaki heyelanların insan etkilerinden kaynaklandığını gösteren en önemli bulgu ise arazi örtüsü-heyelan ilişkisi incelendiğinde ortaya çıkmaktadır. CORINE 2006 arazi örtüsü verilerine göre Merkez ilçedeki heyelanların %47.89’unun tarımsal alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 1). Yamaçlarda teraslamanın ardından bitki örtüsünün kaldırılması, araziye ekime hazır hale getirmek için bitki örtüsünün yakılması, ormansızlaştırma ve tarımsal amaçlar için toprağın sürekli sulanması gibi uygun olmayan faaliyetlerin heyelanlara neden olan insan faaliyetleri arasında yer aldığı literatürde de dile getirilmektedir (Weerasinghe ve ark. 2008; Gurung ve ark. 2013).

4. SONUÇ

Bu proje, Artvin ili Merkez ilçesinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik çalışmaları içermektedir. Çalışmada, frekans oranı metodu, lojistik regresyon metodu ve bayes olasılık modeli kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Uygulamada, heyelanı etkileyen 11 farklı faktör dikkate alınmıştır. Üretilen duyarlılık haritaları, “duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” alanlar olmak üzere 5 şekilde sınıflandırılmıştır.

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritasında yer alan ve kontrol amacıyla analizlere dahil edilmeyen kontrol heyelanları ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmış ve heyelan alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımları yüzde olarak belirlenmiştir.

Frekans oranı yöntemine göre üretilen duyarlılık haritası için yapılan değerlendirmelerde, kontrol heyelanlarının %43,80’inin çok yüksek derecede, %22,18’inin yüksek derecede ve %27,89’unun ise orta derecede duyarlı bölgede kaldığı (toplamda %93,87) tespit edilmiştir.

Lojistik regresyon yöntemine göre üretilen duyarlılık haritası için yapılan değerlendirmelerde, kontrol heyelanlarının %32,60’ının çok yüksek derecede, %27,11’inin yüksek derecede ve %30,62’sinin ise orta derecede duyarlı bölgede kaldığı (toplamda %90,80) tespit edilmiştir.

Bayes olasılık modeline göre üretilen duyarlılık haritası için yapılan değerlendirmelerde ise kontrol heyelanlarının %26,87’sinin çok yüksek derecede, %33,03’ünün yüksek derecede ve %34,67’sinin ise orta derecede duyarlı bölgede kaldığı (toplamda %94,56) tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında kullanılan yöntemlerin (modellerin) performans değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan doğrulama yöntemlerinden biri de “Eğri Altındaki Alan” (Area Under Curve: ROC eğrisinin altında kalan alan) yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre ideal bir model, ROC eğrisi altında kalan alan değerinin 1’e yakın olduğu durumu gösterir. Buna göre ROC eğrisi altında kalan alan bayes olasılık modeli için 0.943, frekans oranı yöntemi için 0.938 ve lojistik regresyon için 0.908 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk performanslarının kabul edilebilir seviyede olduğu, buna karşın en iyi performansın bayes olasılık modeli ile elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Son olarak, her üç yöntemine göre üretilen duyarlılık haritasının birleştirilmesiyle oluşturulan bütünleşik heyelan duyarlılık haritası, yerleşim alanları ile karşılaştırılarak yerleşim alanlarının heyelandan ne derecede etkilendiği belirlenmiştir. Buna göre, Artvin Kent Merkezi ile birlikte Merkeze bağlı toplam 36 köyden 7’sinin (Aşağımaden, Bakırköy, Erenler, Ormanlı, Salkımlı, Sarıbudak, Varlık) çok yüksek derecede ve 10’unun da (Ağıllar, Ahlat, Beştaşlı, Derinköy, Kalburlu, Köseler, Okumuşlar, Ortaköy, Seyitler, Sümbüllü) yüksek derecede heyelana duyarlı alanda yer aldığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akıncı H, Doğan S, Kılıçoğlu C, Keçeci SB (2010) Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(3), 13-27.
- Akgün A, Türk N (2010) İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 34(2), 85-112.
- 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.
- Blesius L, Weirich F (2009) The Use of High-Resolution Satellite Imagery For Deriving Geotechnical Parameters Applied to Landslide Susceptibility, ISPRS Hannover Workshop 2009 High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, June 2-5, Hannover, Germany
- Carrara A, Cardinali M, Guzzetti F, Reichenbach P (1995) GIS technology in mapping landslide hazard. *Geographical Information Systems in assessing Natural Hazards*, 135-175.
- Corsini A, Cervi F, Ronchetti F (2009) Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt.Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology* 111, 79–87.
- Çevik E, Topal T (2003) GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), *Environmental Geology*, 44, 949-962.
- Dağ S, Bulut F, Alemdağ S, Kaya A (2011). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(2), 151-176.
- Dağdelenler G (2013) Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, 210 s.
- Dai FC, Lee CF, Li J, Xu ZW (2001) Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, 40(3), 381-391.

- Doğan S, Akıncı H, Kılıçoğlu C (2012) Bayes Olasılık Teoremi Kullanılarak Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-6 Nisan, Ankara.
- Einstein HH (1988) Special lecture: landslide risk assessment procedure. In: Bonrad C (ed) Proc 5th Int Symp on Landslides, Lausanne, AA Balkema, Rotterdam, Publ 2, pp 1075–1090.
- Ercanoğlu M, Gökçeoğlu C, Van Asch ThWJ (2004) Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, Natural Hazards, 32: 1–23.
- Erener A, Düzgün HSB (2007) Heyelan Analizlerinde Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon (CAR) Metodu, 11. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı, 02-06 Nisan, Ankara.
- Erener A, Lacasse S (2007) Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim–02 Kasım, KTÜ, Trabzon.
- Erener A, Düzgün HSB (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.
- Fawcett T (2006) An introduction to ROC analysis. Pattern Recognition Letters, 27, 861-874.
- Gökçe O, Özden S, Demir A (2008) Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.
- Gökçeoğlu C, Ercanoğlu M (2001) Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23(2001), 189-206.
- Gökçeoğlu C, Duman TY, Sönmez H, Nefeslioğlu HA (2005) 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) Heyelanı, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 20, 17-28.
- Griffiths JS, Mather AE, Hart AB (2002). Landslide susceptibility in the Rio Aguas catchment, SE Spain. Q J Eng Geol Hydrogeol 35:9–17.

- Guha-Sapir D, Hoyois Ph., Below R (2013) Annual Disaster Statistical Review 2012: The Numbers and Trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- Gurung A, Gurung OP, Karki R, Oh SE (2013) Improper agricultural practices lead to landslide and mass movement disasters: A case study based on upper Madi watershed, Nepal. *Emir. J. Food Agric.* 25 (1): 30-38
- Guzzetti F, Reichenbach P, Cardinali M, Galli M, Ardizzone F (2005) Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines. *Geomorphology*, 72, 272–299.
- Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, Cardinali M, Galli M (2006) Estimating the quality of landslide susceptibility models, *Geomorphology*, 81, 166-184.
- Hansen A (1984) Landslide hazard analysis. In: Brunsden D, Prior DB (eds) *Slope instability*. Wiley, New York, pp 523–602.
- IFRC (2014) Afghanistan: Floods and landslide, Information Bulletin, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), <http://www.ifrc.org/docs/Appeals/rpts14/IBafgFFLSn2-080514.pdf>, Accessed 11 July 2014.
- Juang CH, Lee DH, Sheu C (1992) Mapping slope failure potential using fuzzy sets, *Journal of Geotechnical Engineering*, 118(3), 475–494.
- Kavzoğlu T, şahin EK, řölkeseñ İ (2012) Heyelan Duyarlılığının İncelenmesinde Regresyon Ağaçlarının Kullanımı: Trabzon Örneği, *Harita Dergisi*, 147, 21-33.
- Kılıç F, Gökaşan E (2009) Yeryüzü şekillerinin SYM ile CBS Ortamında Değerlendirilmesi (Ders Notu), <http://www.yildiz.edu.tr/~fkilic/CBSYeryuzuV4.pdf>, Accessed 6 August 2014.
- Konak N, Hakyemez HY (2009) 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:105, Tortum G47 Paftası, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kumtepe P, Nurlu Y, Cengiz T, Sütçü E (2009) Bolu Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.
- Lee S, Min K (2001) Statistical analyses of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40(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.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR (1991) Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Nandi, A., Shakoor, A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, *Engineering Geology*, 110, 11–20.
- Ohlmacher GC, Davis JC (2003) Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansa, USA. *Eng Geol*, 69, 331–343.
- Özdemir A, Altural T (2013) A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Pachauri AK, Pant M (1992) Landslide hazard mapping based on geological attributes, *Engineering Geology*, 32(1-2), 81–100.
- Pachauri AK, Gupta PV, Chander R (1998) Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas, *Environmental Geology*, Volume 36, Numbers 3-4, 325–334.
- Parise M (2001) Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. *Phys Chem Earth* 26:697–703.
- Regmi NR, Giardino JR, Vitek JD (2010) Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology* 115, 172–187
- Reis S, Yalçın A, Atasoy M, Nişancı R, Bayrak T, Sancar C, Ekercin S (2009) CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri İle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu*, 4-6 Şubat, Ankara.
- Saha AK, Gupta RP, Arora MK (2002) GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas, *International Journal of Remote Sensing*, 23(2), 357-369.
- Sharma LP, Debnath P, Nilanchal P, Ghose MK (2009) Landslide Vulnerability, *Coordinates*, 5(11), 31-34.

- TÜİK (2014) Türkiye İstatistik Kurumu. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Sonuçları. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>. Accessed 16 July 2014.
- Wati SE, Hastuti T, Widjojo S, Pinem F (2010) Landslide Susceptibility Mapping With Heuristic Approach In Mountainous Area: A Case Study In Tawangmangu Sub District, Central Java, Indonesia, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto, Japan.
- Weerasinghe KM, Malalasekara A, Dahanayake K, Perera SJ (2008) Learning to live with Landslides Natural Hazards and Disasters, Department of Institutional Development, National Institute of Education, Sri Lanka.
- Wieczorek GF (1984) Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. Bull Assoc Eng Geol 21:337–342.
- Van Westen CJ (1994) GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price MF, Heywood DI (eds) Geographical information systems in landslide hazard zonation GIS applications for mountain areas. Taylor and Francis, London, pp 135–165.
- Van Westen CJ, Rengers N, Soeters R (2003) Use of geomorphological information in indirect landslide assessment. Natural Hazards, 30, 399–419.
- Varnes DJ (1958) Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C., p.20-47.
- Varnes DJ (1984) Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices, Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 p, Paris.
- Vos F, Rodriguez J, Below R, Guha-Sapir D (2010) Annual Disaster Statistical Review 2009: The Numbers and Trends, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- Yalçın A (2007a) Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(3), 1-14.
- Yalçın A (2007b) Environmental impacts of landslides: A case study from East Black Sea region, Turkey. Environmental Engineering Science, 24(6), 821-833.

- Yalçın A (2008) GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72(1), 1–12.
- Yavuz Özalp A, Akıncı H, Temuçin S (2013) Artvin İli Arazisinin Topografik ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tespiti ve Bu Özelliklerin Arazi Örtüsü ile İlişkisinin İncelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 292-309.
- Yesilnacar E, Topal T (2005) Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural Networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79, 251–266.
- Yılmaz BS, Gülibrahimoğlu İ, Yazıcı EN, Yaprak S, Saraloğlu A, Konak O, Köse Z, Çuvalcı F, Tosun CY (1998) Artvin İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Yılmaz I (2009) Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey) *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138.
- Yılmaz I (2010) Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine. *Environmental Earth Sciences*, 61(4), 821-836.
- Zhu L, Huang J (2006) GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale. *Journal of Zhejiang University Science A*, 7(12), 2007-2017.