

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY ÇİĞ MAKİNELERİNİN CBS İLE YER SEÇİMİNİN YAPILMASI:  
PALANDÖKEN ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Müh. Mehmet Alper ÖZCAN**

**HAZİRAN 2019**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY ÇİĞ MAKİNELERİNİN CBS İLE YER SEÇİMİNİN YAPILMASI:  
PALANDÖKEN ÖRNEĞİ**

**Mehmet Alper ÖZCAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 05 / 2019**

**Tezin Savunma Tarihi : 14 / 06 / 2019**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında  
Mehmet Alper ÖZCAN Tarafından Hazırlanan**

**YAPAY ÇIĞ MAKİNELERİNİN CBS İLE YER SEÇİMİNİN YAPILMASI:  
PALANDÖKEN ÖRNEĞİ**

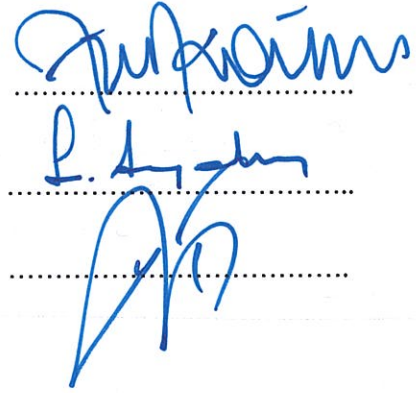
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2019 gün ve 1806 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Fevzi KARSLI**

**Üye : Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Erzurum İli, Palandöken Kayak Merkezindeki yapay çığ makineleri (GAZ-EX) için gerçekleştirdiğim bu çalışma süresince desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösteren kıymetli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN'a ve çalışmaların süresince her zaman yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Fevzi KARSLI'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini her an hissettiğim, hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan değerli annem, babam ve kardeşlerime, aktif olarak iş hayatında bulunmam nedeniyle tez çalışması boyunca desteğini esirgemeyen değerli büyüğüm ve üst amirim, Serkan ÇEKİÇ'e ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilir, gelecekte yapılacak çığ çalışmalarına ışık tutabilmesini dilerim.

Mehmet Alper ÖZCAN  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yapay Çığ Makinelerinin CBS İle Yer Seçiminin Yapılması: Palandöken Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/06/2019

Mehmet Alper ÖZCAN

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLO DİZİNİ.....	XI
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Çalışmaları .....	6
1.3. Topoğrafik Parametreler ile Potansiyel Çığ Başlama Bölgelerinin Belirlenmesi ...	10
1.3.1. Eğim.....	11
1.3.2. Eğrisellik.....	12
1.3.3. Bakı.....	15
1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü .....	16
1.3.5. Ana Tepe Sırtlarına Uzaklık .....	17
1.3.6. Orman .....	17
1.4. Topoğrafik Parametrelerin Kullanılması .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	20
2.1. Çalışma Kapsamında Kullanılan Veriler .....	22
2.2. Çalışma Alanı .....	23
2.3. Çalışma Alanı Sınırlarının Belirlenmesi.....	25
2.4. Çalışma Alanına Ait SYM Verilerinin Elde Edilmesi.....	27
2.5. Çalışma Ölçeği.....	29
2.6. Orman .....	34
2.7. SYM Verilerinden Potansiyel Çığ Salınım Alanlarının Tespitine Yönelik Parametre Haritalarının Oluşturulması .....	36
3. BULGULAR VE İRDELEME .....	51

3.1.	Parametre Haritalarından Potansiyel ığ Alanlarının Oluşturulması.....	51
3.2.	şekli ile Byklğ ve Ait Olduğu Havza Açısından Potansiyel ığ Salınım Alanlarının Tekrar Değerlendirilmesi.....	53
3.3.	Potansiyel ığ Alanlarının Kontrolü .....	59
3.4.	Yapay ığ Makinelerinin (GAZ-EX) Yer Seçimi.....	63
3.4.1.	Çalışma Bölgesinde Mevcut Olan GAZ-EX Makineleri.....	63
3.4.2.	Yeni GAZ-EX Makineleri nerileri.....	64
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
5.	KAYNAKLAR.....	70

ZGEMİş



Yüksek Lisans

ÖZET

YAPAY ÇIĞ MAKİNELERİNİN CBS İLE YER SEÇİMİNİN YAPILMASI:  
PALANDÖKEN ÖRNEĞİ

Mehmet Alper ÖZCAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Danışman:  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN  
2019, 72 Sayfa

İnsanlık, tarih boyunca yaşam alanlarını daha güvenli bölgelere götürmeye çalışmış ve bu sebeple çığ afeti tehlikesi içeren bölgelerden uzak durarak çığ afetinden korunmuşlardır. Fakat günümüzde, kar ile alakalı turizm ve kış sporları aktivitelerinin gelişmesi ile birlikte, çığ afet tehlikesi altındaki yerlerde yaşam yeniden başlamıştır. Çığ tehlikesi içeren bölgelerde yaşam için alınması gereken aktif ve pasif önlemler bulunmaktadır. Bu önlemlerden biri GAZ-EX makineleridir. Bu makineler, depolarında sıkışık halde bulunan oksijen ve propan gazlarının patlatılması sonucunda elde edilen yapay basınç ile kontrollü çığ oluştururlar. Bu tez çalışması kapsamında, çalışma alanı olarak seçilen Palandöken Kayak Merkezi'nde bulunan mevcut GAZ-EX makinelerinin yerleri irdelenmiş ve yeni GAZ-EX makineleri için yer önerisinde bulunulmuştur. Öncelikle, GAZ-EX makinelerinin yer seçimi için potansiyel çığ salınım alanlarının tespiti gereklidir. Potansiyel çığ salınım alanlarının tespiti için topoğrafik olarak eğim, eğrisellik, yüzey pürüzlülüğü, bakı, yükseklik ve drenaj ağı ile havza alanları en önemli temel etkenlerdir. Bu tez çalışması kapsamında kurulan önerilen bir akış diyagramı dâhilinde, CBS teknolojilerinden faydalanılarak, potansiyel çığ alanlarının tespiti yapılmış ve GAZ-EX cihazları için yer seçimleri yapılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışma sonucunda, tüm parametreler dikkate alınarak 3B harita üzerinde, 9 adet yeni GAZ-EX makinesi ile 2 adet koruyucu duvar önerisi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Erzurum, Palandöken, çığ, GAZ-EX.



Master Thesis

## SUMMARY

### THE LOCATION SELECTION OF ARTIFICIAL AVALANCHE MACHINES WITH GIS: A CASE STUDY PALANDÖKEN

Mehmet Alper ÖZCAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geomatics Engineering Program  
Supervisor: Asist. Prof. Mustafa DİHKAN  
2019, 72 Pages

Throughout history, humanity has tried to take the living areas to safer areas and therefore they have been protected from avalanches by staying away from the areas that have the danger of avalanches. But nowadays, with the development of snow-related tourism and winter sports activities, life has resumed in avalanche-disaster areas. There are active and passive measures to be taken for life in avalanche hazard areas. One of these measures is GAZ-EX machines. These machines form a controlled avalanche with artificial pressure obtained as a result of the explosion of oxygen and propane gases which are compressed in their tanks. Within the scope of this thesis, the locations of the existing GAZ-EX machines in the Palandöken Ski Center, which was selected as the study area, were examined and a place was proposed for the new GAZ-EX machines. First of all, it is necessary to identify potential avalanche oscillation areas for site selection of GAZ-EX machines. Topographic slope, curvature, surface roughness, view, height and drainage network and basin areas are the most important basic factors for the determination of potential avalanche release areas. Within the scope of this thesis, potential avalanche areas have been determined by using GIS technologies within the established and proposed flow diagram and location choices have been made for GAZ-EX devices. As a result of the study carried out within the scope of the thesis, 9 new GAZ-EX machines and 2 protective walls were proposed on the 3D map by considering all parameters.

**Key Words:** Erzurum, Palandöken, Avalanche, GAZ-EX.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	Dünya genelinde çığ olaylarında meydana gelen can kayıpları .....	1
Şekil 2.	Türkiye’de meydana gelen çığ olaylarının yıllara sâri gösterimi .....	2
Şekil 3.	Çığ olayının mekanik temelleri .....	3
Şekil 4.	GAZ-EX sistem şeması .....	5
Şekil 5.	Patlama halindeki bir GAZ-EX borusu, Palandöken, Erzurum, 2017.....	6
Şekil 6.	Eğim açısına göre PRA alanları (Maggioni ve Gruber, 2003) .....	11
Şekil 7.	Eğrisellik Yüzeyi Hesaplanması (ESRI, 2019) .....	13
Şekil 8.	Eğrisellik (Maggioni ve Gruber, 2003) .....	15
Şekil 9.	VED hesaplanma şekli (Sappington vd., 2007).....	16
Şekil 10.	PRA tespiti için hazırlanan algoritma (Maggioni, 2005) .....	18
Şekil 11.	Önerilen yaklaşım.....	22
Şekil 12.	Çalışma alanı (URL-3) .....	24
Şekil 13.	Çalışma alanı Sınırı .....	26
Şekil 14.	Çalışma alanı SYM veri seti.....	28
Şekil 15.	Yeniden örnekleme işleminin genel olarak gösterimi (URL-4).....	30
Şekil 16.	En yakın komşuluk yöntemi temel gösterimi (URL-5).....	31
Şekil 17.	Bilineer enterpolasyon yöntemi temel gösterimi (URL-7).....	32
Şekil 18.	Kübik enterpolasyon yöntemi temel gösterimi (URL-7).....	33
Şekil 19.	Yeniden örneklenen SYM verisi; (a) 10 cm; (b) 5 m olmak üzere iki farklı çözünürlükteki SYM verisinin gösterimi .....	34
Şekil 20.	Meşcere haritalarının; yükseklik haritası (a) ve mozaik raster haritaya (b) göre gösterimi .....	35
Şekil 21.	Fiili orman alanlarının, dağılımı (a); (b) ortofoto ile çakışık sınırlar .....	36
Şekil 22.	Çalışma alanı sınırlarına göre elde edilen eğim haritası.....	38
Şekil 23.	Bakı değerlerinin gösterimi (a) güneş ışınlarının geliş yönleri; bakı etkisinin kuzey yarım kürede etkisi (b/a); bakı etkisinin doğu-batı karşılaştırması(b/b); bakı etkisinin kuzey-güney karşılaştırması (b/c) (Çığ Temel Kılavuzu, AFAD, 2015) .....	39
Şekil 24.	Çalışma alanı bakı haritası.....	41
Şekil 25.	Çalışma alanı eğrisellik haritası.....	43
Şekil 26.	Çalışma alanı yüzey engebelilik (VED) haritası .....	45

Şekil 27. Çalışma alanı yükseklik haritası .....	47
Şekil 28. Akış yönü (ESRI, 2018) ve havza toplanma bölgelerinin hesaplanması .....	48
Şekil 29. Havza ve drenaj hatlarının çıkarılması için kurulan model builder yapısı .....	49
Şekil 30. Çalışma alanı sınırlarına göre elde edilen drenaj haritası.....	50
Şekil 31. Raster hesaplama örnek şekli .....	51
Şekil 32. Potansiyel çığ salınım alanlarını gösterir harita .....	52
Şekil 33. Sarı ile mevcut PRA bölgeleri (a), mavi ile 500 m <sup>2</sup> büyüklüğe göre elimine edilerek hazırlanan PRA bölgeleri haritası (b) gösterilmiştir. ....	54
Şekil 34. Kırmızı, pistlerin içerdiği alanları gösterir havza sınırları; mavi, pistler; beyaz; potansiyel çığ başlama bölgelerini göstermektedir. ....	56
Şekil 35. Havza ayırımı yapılmış PRA haritası .....	57
Şekil 36. Potansiyel çığ salınım haritası .....	58
Şekil 37. 2006 yılında AFAD Genel Müdürlüğü tarafından yapılan potansiyel çığ başlama alanları (kırmızı renk ile taralı alanlar); çalışma alanı (siyah çizgi ile sınırlandırılmış bölge) .....	60
Şekil 38. Tez kapsamında üretilen potansiyel çığ salınım alanları ve AFAD potansiyel çığ salınım alanlarını gösterir harita.....	61
Şekil 39. Eğim eşiği 20°'ye getirilen SYM verisi ve AFAD PRA bölgelerini gösterir harita .....	62
Şekil 40. Potansiyel çığ salınım alanlarının (mavi) ve GAZ-EX makinelerinin (kırmızı) gösterimi (a); kayak pistlerinin (çeşitli renklerde) ve GAZ-EX makinelerinin (kırmızı) (b) .....	63
Şekil 41. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (mavi) alanlarının gösterir harita .....	65
Şekil 42. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (beyaz) alanlarının 3B gösterimi.....	66
Şekil 43. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (beyaz) alanlarının 3B gösterimi.....	66
Şekil 44. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (beyaz) alanlarının 3B gösterimi.....	67

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Bazı açıların sinüs ve kosinüs değerleri .....	4
Tablo 2. Çiğ oluşumuna etkiyen unsurlar.....	4
Tablo 3. Çiğ sınıflandırması (Moner vd.,2013).....	53



## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

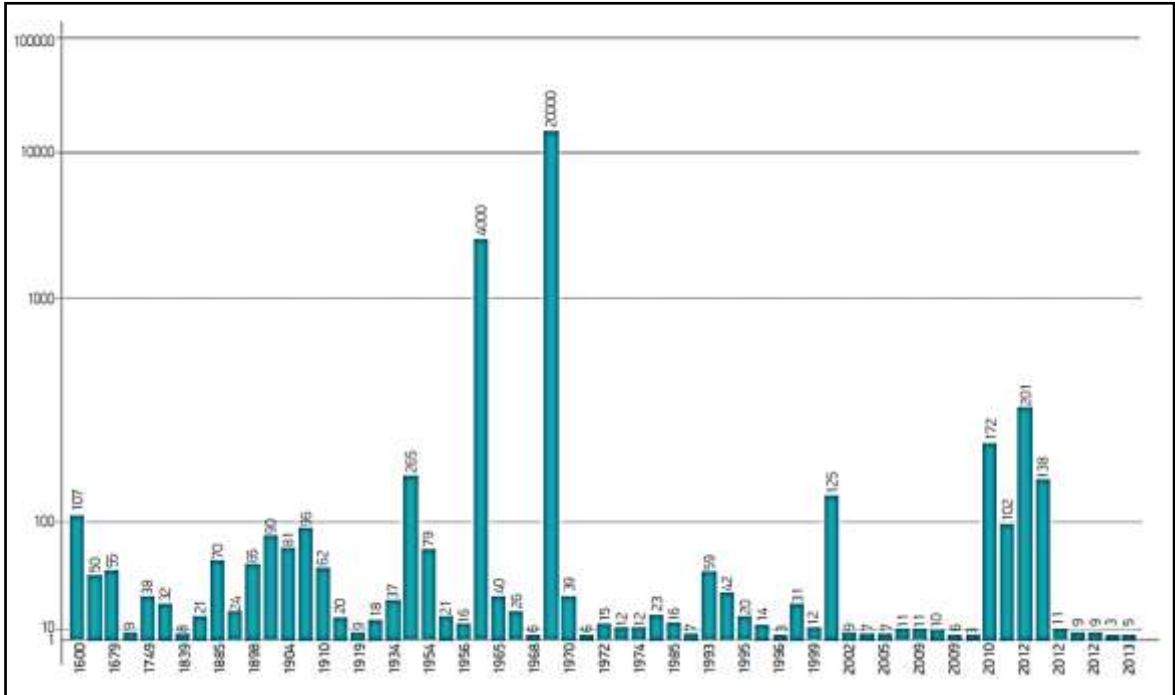
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
GAZ-EX	Gaz Patlatıcısı
L	Raster Çözünürlüğü
NDVI	Normalize Edilmiş Vejetasyon Farkı İndeksi
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
PRA	Potansiyel Çığ Salınım Alanı
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
VED	Vektör Engebelilik Değeri
3B	3 Boyutlu
Θ	Çığ Eğim Açısı [°]

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

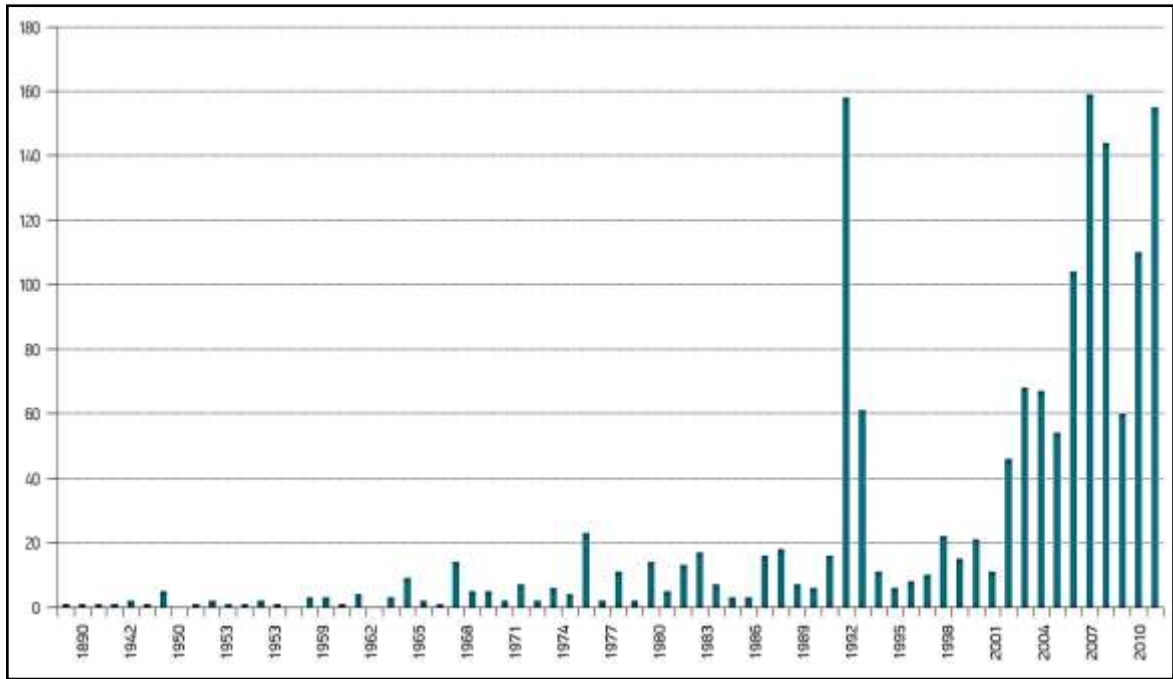
Ülkemizin 780.120,00 km<sup>2</sup> alana sahip olduğu coğrafya üzerinde 605.062,00 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki alan dağlık özellikler taşıyan topoğrafyalardan oluşmakta ve toplam alanın %78'i ile nüfusun 33,4 milyonu bu bölgelerde yaşamakta olup, toplam nüfusun %46,4'üne tekabül etmektedir. (EEA Raporu, 2010). Ülkemizin sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel yapısı nedeniyle dünya ölçeğinde doğal afetlerden en çok etkilenen ülkeler arasındadır. Ülkemizde meydana gelen doğal afetler; meydana geliş sırasına göre depremler, heyelanlar, taşkınlar, kaya düşmeleri ve çığlardan oluşmaktadır. (Çığ Temel Kılavuzu, AFAD, 2015).

Geçmiş yıllara yönelik bir belirsizlik olmakla beraber her yıl dünya üzerinde can kaybı ile sonuçlanan çığ olaylarında ölü sayısının birkaç kişi ile 20.000 kişi arasında değiştiği bilinmektedir. Dünya üzerinde her yıl çığ olayları sebebiyle ortalama 250 kişinin hayatını kaybetmekte olduğu tahmin edilmektedir. (Çığ Temel Kılavuzu, AFAD, 2015).



Şekil 1. Dünya genelinde çığ olaylarında meydana gelen can kayıpları

Deniz seviyesinden ortalama 1131 metre yükseltisi ile Türkiye, dünyadaki en yüksek ülkelerden birisidir. Ülkemizdeki arşiv verilerine göre yıllık can kaybının 20 olduğu bildirilmektedir. AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) tarafından derlenen, 1890 ve 2014 arasındaki verileri içeren arşiv bilgilerine göre Türkiye’de meydana gelen çığ olaylarının sayısı 1997, bu çığlara bağlı ölü sayısı 1446, yaralı sayısı ise 420’dir (Çığ Temel Kılavuzu, AFAD, 2015). Ayrıca mülkiyet hasarı sebebiyle ekonomik maliyetleri de önemli düzeyde olabilmektedir (Schweizer, 2008).

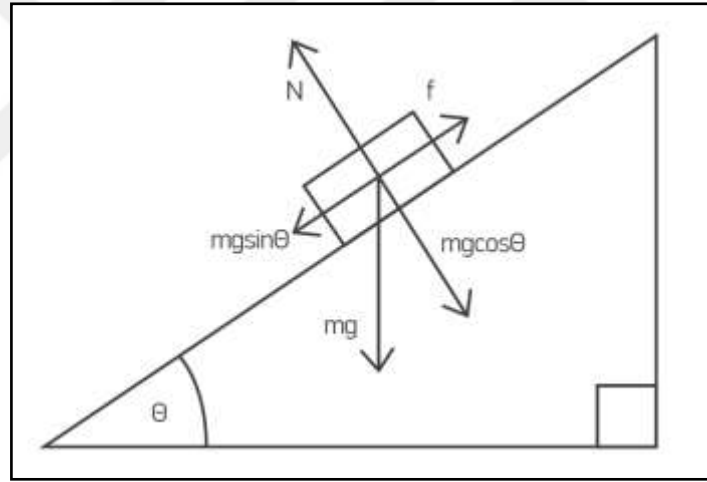


Şekil 2. Türkiye’de meydana gelen çığ olaylarının yıllara sâri gösterimi

Çığlar, dağlık bölgelerdeki insan faaliyetleri üzerinde önemli etkiye sahip olan doğal bir tehlikedir (Maggioni, 2005). Bu olayı doğal afete dönüştürenler ise; içinde insanlar ve insan etkisinin bulunduğu kontrolsüz (plansız) yerleşimler, çığın oluşumuna neden olabilecek tetikleyici etkiler ile bu etkiler konusundaki yetersiz bilgi (eğitim eksikliği), erken uyarı sistemlerinin yetersizliği vb. nedenlerdir(Uçar, 2014). Doğa olaylarının önüne geçilmesinin oldukça zor olması nedeniyle, bilhassa çalışma konusu olan çığdan korunmak için önceden tedbirler alınmalı, hangi parametrelerin çığa sebep olabileceği konusunda bilinçlenilmeli, çığdan korunmak için yaşam şartlarının tasarımı konusunda önlemler alınmalıdır.

Afet, bir olayın kendisi değil, doğurduğu sonuçtur (URL-1). Dünya üzerinde yaşanan birçok çığ olayı, afet niteliği taşımadığı için aslında kayıt altına alınamamaktadır. Herhangi bir çığ olayının afet olarak görülebilmesi, hasar doğurabilecek nitelikte olmasına bağlıdır. Bu sebeple özellikle yerleşim yerlerinin yanı sıra, kayak merkezlerinde de çığ olayları afet niteliğinde meydana gelmektedir.

Çığ olaylarından korunmak amacı ile öncelikle çığ olayının mekanik temellerinin bilinmesi gereklidir. Bir tür hızlı hareket eden kitle hareketi olan kar çığları, dünyadaki karla kaplı dağ alanlarında meydana gelir ve insan faaliyetlerine müdahale ettiklerinde maddi hasara ve can kaybına neden olabilir (Schweizer, 2008). Bir başka ifade ile çığın mekanik temelleri, eğimli (içbükey, düz veya dışbükey) bir yüzey boyunca yağış sonucu oluşan bir kar kütesinin denge halini çeşitli etmenlerin tetiklemesi sebebiyle kaybedip, eğim boyunca kayması sonucu oluşan bir doğal afettir.



Şekil 3. Çığ olayının mekanik temelleri

Kar kütesinin kaymadan yamaç üzerinde durması için kar kütesine etkiyen yamaca yatay ve yamaca dik kuvvetlerin birbirine eşit olması gereklidir.

$$m * g * \sin\theta = m * g * \cos\theta \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitliğe göre “m\*g” miktarları bütün koşullarda eşit olacağı için mekanik olarak çığ olayı yamaç eğimine bağlıdır. Aşağıda bazı açılarının sinüs ve kosinüs değerleri Tablo 1.’de verilmiştir.



Tablo 1. Bazı açıların sinüs ve kosinüs değerleri

Eğim ( $\Theta^\circ$ )	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
Sinüs	0.00	0.17	0.34	0.50	0.64	0.71	0.77	0.87	0.94	0.98	1.00
Cosinüs	1.00	0.98	0.94	0.87	0.77	0.71	0.64	0.50	0.34	0.17	0.00

Yamaç eğiminin, sinüs değerinin kosinüs değerinden yüksek olduğu her noktada mekanik olarak çığ beklenebilir. Mekanik olarak  $45^\circ$  üzerinde her noktada çığ beklenmesine rağmen doğada çığlar genellikle  $30^\circ$  ile  $60^\circ$  arasında meydana gelmektedir (Salm, 1982). Bunun sebebi doğada sürtünme kuvvetinin çekme kuvvetine yönelik değişimlerinin sadece eğim ile değil başka değişken veya değişken olmayan tetikleyici unsurlar ile de bozulmasıdır. Temelde bu tetikleyici unsurların genel sınıflandırması Tablo 2'de ifade edilmiştir.

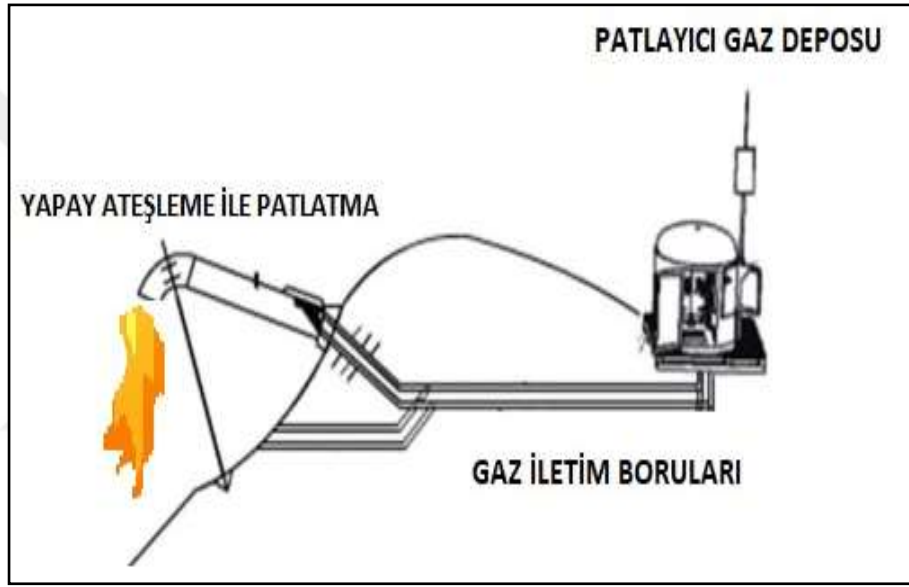
Tablo 2. Çığ oluşumuna etkiyen unsurlar

Tetikleyici Unsur	Durumu
Kar Örtüsü Koşulları	Değişken
Meteorolojik Koşullar	Değişken
İnsan vb. Etmenler	Değişken
Topoğrafik Koşullar	Değişken Değil

Değişken veya değişken olmayan parametrelere bağlı çığların potansiyel olarak meydana gelebileceği yerleri tespit etmek önlem alınması açısından hayati bir değer taşımaktadır. Oluşacak çığın hacmi, kırılma derinliği ve başlama bölgesindeki büyüklüğü vereceği zararı belirlediği için, PRA bölgelerinin belirlenmesi, oluşabilecek zararların önüne geçilmesi yönü ile en kritik olgudur. PRA belirlenmesi zor bir iştir, ancak büyük ölçekli tehlike haritalaması, sayısal çığ simülasyonları ve tehlike azaltma önlem planlaması için önkoşuldur (Bühler vd. 2013).

PRA belirlenmesinin ardından topoğrafyanın mahiyetine göre en uygun önlemlerin alınması ile insan hayatının çığ afetinden korunacağı aşikârdır. Dağlık alanlarda insan aktivitelerinin yoğun olduğu kayak merkezlerinde çığ afetlerinin önüne geçilebilmesi için çeşitli aktif ve pasif önlemler alınmaktadır. GAZ-EX yapay çığ salma sistemi, uzak bir

yerden, herhangi bir zamanda, herhangi bir hava koşulunda, güvenli ve hızlı aktif çığ kontrolü yöntemidir. İlk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen sistemin yatırım getirisi dört yıl gibi kısa bir sürede elde edilebilir (Lieberman, E., 2002). Sistem, çığ başlangıç alanlarında konumlandırılmış çıkış borusu ve gaz iletim boruları hatları ile merkezi patlayıcı gaz deposuna bağlı patlayıcılardan oluşur (Şekil 4). Bir depoya bağlı birden çok çıkış borusu olan GAZ-EX sistemleri de mevcuttur. Patlayıcı depolarına radyo kontrolleri sayesinde uzaktan ulaşılır ve güvenli bir mesafeden patlayıcıların çalıştırılması sağlanır.



Şekil 4. GAZ-EX sistem şeması

Sistemde, oksijen ve propan gazının birleştirilmesiyle çığ salma bölgelerine yerleştirilen boru hatlarının çıkışında yapay patlama oluşturulmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Patlama halindeki bir GAZ-EX borusu, Palandöken, Erzurum, 2017

Patlama ile kontrollü ve suni çığlar elde edilmekte, özellikle kayak merkezlerinde aktiviteler esnasında oluşabilecek çığ olaylarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, CBS teknolojileri kullanılarak, çığ oluşumuna etkiyen literatürde yer alan sabit tetikleyici topoğrafik parametrelerin araştırılması ve bu parametreler arasında bir bağlantı kurulması ile PRA belirlenmesi ve aktif önlem yapılarından biri olan GAZ-EX cihazları için yer tespiti yapılmasıdır.

## 1.2. Literatür Çalışmaları

Maggioni ve Gruber (2003), 25 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinden türetilen topoğrafik parametreler olan; ortalama eğim, minimum eğim, azami eğim, eğrisellik, ortalama bakı, tepelere olan uzaklık parametrelerini kullanarak, ormanların harici potansiyel başlama bölgelerinin tespiti ile istatistiksel analizler yardımıyla çığ sıklığını belirlemek için çalışmıştır.

Maggioni (2005), 25 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verilerinden eğim, eğrisellik ve bakı parametrelerini üreterek, potansiyel çığ salınım alanlarının tespiti için bir akış diyagramı kurmuş ve orman alanlarını hariç tutarak, bu bölgeleri ortaya koymuştur. Çalışmanın sonucunda, gelecekteki çığ araştırmalarının topoğrafik parametrelere odaklanması gerektiğini önermiştir.

Marek ve Barka (2009), istatistiksel regresyon modeli esas alınarak, 5 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinden, yükseklik, bakı, profil eğriselliği, plan eğriselliği, eğim ve pürüzlülük parametreleri ile potansiyel çığ başlama bölgelerini tespit etmiştir.

Suk ve Klimanek (2011), 5 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinde, analitik hiyerarşik süreç (AHP) kullanılarak, eğim, bakı, profil eğriliği tanjant eğriliği ve orman parametreleri kullanılarak potansiyel çığ başlama alanlarını ortaya koymuştur. Araştırmanın başarısının giriş verileri, özellikle de SAM ve bitki örtüsü verilerinin kaliteli olmasından kaynaklandığını belirtmiş, kurulan AHP modelinin başka çığ tehlikesi altında olan alanlar içinde kullanılabileceğini bildirmiştir.

Bühler vd. (2011), Çığ olaylarının modellenmesinde farklı konumsal çözünürlüklere sahip SYM verilerinin davranışlarının test edilmesi ve farklılıkların ortaya konulması ile SYM çözünürlüklerinin sonuçlara etkisinin nasıl olacağı araştırılmıştır. Yapılan araştırmayı doğrulayabilmek için iki test alanına ait 3 farklı kayıtlı (önceden yaşanmış ve olayları belgelenmiş) çığ test verisi olarak kullanılmıştır. Araştırmaya konu olan veri setlerinin çözünürlükleri; 2, 25, 30 ve 90 metredir. Veri setleri sayısal çığ dinamik modelleme yazılımı olan RAMMS ortamında sabit parametreler ile modellemeye tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda düşük konumsal çözünürlüğe sahip SYM verilerinin arazideki; sırt, dere, tepe ve çöküntüleri yeterince temsil edememesinden kaynaklı olarak topoğrafyayı çığ modellemesine uygun olarak yansıtamadığı ve bu sebeple çığ başlangıç noktası, akma hattı ve birikme bölgesinde farklılıklar görülmüş, bu farklılıkların çığ olayının yıkıcı etkisini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Araştırmanın nihai sonucu olarak özellikle karakteristik topoğrafyaya sahip arazilerde yapılacak çığ çalışmalarında, modelleme ve potansiyel çığ alanlarının belirlenmesinde, 30 m konumsal çözünürlükten daha düşük konumsal çözünürlüğe sahip SYM verilerinin kullanılırken dikkatli olunması tavsiye edilmiştir.

Bühler vd. (2013), geçmiş çığ olaylarının gözlem ve kayıtlarının eksik olduğu durumlarda yüksek çözünürlüklü SYM verilerinden potansiyel çığ alanlarının oluşabileceği

yerlere esas bir ön tahmin yapmayı sağlayan algoritma geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu topoğrafik parametreler önem sırasına göre; eğim, eğrisellik ve pürüzlülüktür. Aynı zamanda çalışmada NDVI indeksi kullanılarak ormanlık alanlar tespit edilmiş ve potansiyel çığ salınım alanlarının dışında bırakılması sağlanmıştır. Oluşacak potansiyel çığ alanlarını büyüklüklerine göre; büyük çığlar (alanı > 100.000 m<sup>2</sup>), ortalama çığlar (100.000 m<sup>2</sup> >alanı > 50.000 m<sup>2</sup>) ve küçük çığlar (alanı < 50.000 m<sup>2</sup>) olarak sınıflandırmıştır. Çalışmada, arazi parametrelerini test etmek için İsviçre Davos Bölgesi test sahası olarak seçilmiştir. Test bölgesine ait 2 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verilerini sırası ile 5, 10, 20 ve 40m çözünürlükteki yeni örnekleme aralıklara getirip algoritma test edilmiştir. Uygulamada 5m çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinden önem sırasına göre; eğim (28°-55°), eğrisellik (<3) ve arazi pürüzlülüğü (<0.03) parametrelerini üreterek, potansiyel çığ salınım alanlarının tespiti için orman alanlarını hariç tutarak nihai potansiyel çığ salınım bölgelerini ortaya koymaya çalışmıştır. Çalışmada, 2m ila 10 m konumsal çözünürlük özellikli SYM verilerinin kullanılması önerilmektedir. Bunun nedeni düşük SYM çözünürlüklerinin küçük ve ortalama büyüklüğündeki çığların ihmal edilmesine yol açarken, çok yüksek çözünürlüklü SYM verilerinin ise küçük ve gerçekçi olmayan potansiyel çığ salınım bölgeleri meydana getirebilmesidir.

Uçar (2014), çığ modelleme çalışmaları yapılarak çığ tehlike haritalarının oluşturulması sağlanmış ve modelleme girdilerinin çığ akımı üzerindeki etkileri incelenmiş, örnek çalışma alanı olarak Çoruh Havzası kullanılmıştır. Voellmy (1955), bilinenin aksine ilk çığ çalışmalarının, Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) tarafından 1930'lu yıllarda yapıldığı fakat dil farklılığından ötürü pek bilinmediğine değinmiştir. Çalışmada aynı zamanda ilk modelleme çalışmalarının 1935 yılında şimdiki Gürcistan'ın başkenti olan Tiflis'te yaşayan araştırmacılar tarafından gerçekleştirildiğine işaret edilmiştir. Uçar (2014), yaptığı modelleme çalışmaları için öncelikle çığ dinamiği ile ilgili çalışmaları irdelemiş, çığ modelleme çalışmalarında uygulamalarda genellikle karşılaşılan problemlerin; gerçeğe uygun senaryoyu yakalayabilecek ölçekte topoğrafik haritaların belirlenmesi, coulumb ve türbülanslı sürtünme katsayılarının belirlenmesi, potansiyel başlama bölgesinin Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinde belirlenmesi ve çığ akma güzergâhında kar örtüsünden kazınan katılma derinliğinin tespit edilmesi olarak sıralamıştır. Potansiyel çığ başlama bölgelerinin belirlenmesi için Maggioni (2005)'e benzer bir akış diyagramı oluşturulmuştur. Potansiyel çığ başlama bölgelerinin tespiti için topoğrafik parametrelerden; Eğim 28°-55° aralığını, yükseklik >1000 m, arazi pürüzlülüğü

$<0.03$  ve eğrisellik  $<0.2$  değerlerini kullanmıştır. Çalışma alanı içerisinde tüm parametreleri sağlayan hücreler için ArcGIS programı içerisinde “Overlay Analysis” (konumsal analiz) yapılarak potansiyel çığ başlama bölgeleri otomatik olarak elde edilmiştir. Bulunan potansiyel başlama çığ başlama alanları tekrar kontrol edilerek gerçeğe uygun olmayan alanlar elimine edilerek ve/veya birleştirilerek nihai potansiyel çığ başlama bölgeleri elde edilmiştir. Çalışma alanı genelinde çığ tehlike haritalarının oluşturulması amacıyla modelleme çalışmaları yapılmış, uygun değer önlem yapıları belirlenmiştir.

Cia vd. (2014), 5 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinde, Analitik hiyerarşik süre. (AHP) kullanılarak, yükseklik, eğim, eğrisellik ve orman parametreleri kullanarak, potansiyel çığ alanlarını ortaya koymuştur.

Aydın vd. (2014), Bühler vd. (2013) tarafından geliştirilen algoritma kullanılarak, 10 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinden, eğim, eğrisellik, rakım ve arazi pürüzlülüğü parametreleri kullanılarak potansiyel çığ başlama bölgeleri bulunmuştur.

Ersan vd. (2017) Isparta İlinde bulunan Davraz Kayak Merkezi çalışma alanı kabul edilerek, 10 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri üzerinden, eğim, eğrisellik, rakım ve arazi pürüzlülüğü gibi topoğrafik parametreleri kullanılarak potansiyel çığ başlama bölgeleri bulunmuş ve çığ tehlike haritaları üretilmiştir. Çığ tehlike haritalarını üretmek için Bühler vd. (2013) tarafından geliştirilen algoritma (ELBA+) kullanılarak çalışmaları yapmışlardır.

Bühler vd. (2018), Mevcut potansiyel çığ salınım alanlarının tespiti için literatürde oluşturulan algoritmaları (Voellmy, 1955; Maggioni vd.,2002; Maggioni ve Gruber, 2003; Maggioni 2005; Ghinoi ve Chung, 2005; Barbolini vd., 2011; Andres ve Cia, 2012; Pistocchi ve Notarnicola, 2013; Bühler vd., 2013; Cia vd., 2014; Veitinger vd., 2016) SAM verileri ile eğim, baki, pürüzlülük ve eğrilik gibi parametreleri irdeleyerek yeni bir obje tabanlı yaklaşım önermiş olup, uygulamayı gerçekleştirmek için 5 m hassasiyetinde SYM verileri kullanılmış ve 500 m<sup>2</sup>'den küçük çığlar hariç tutulmuştur. Çalışmada kayıtlı çığların iyi bir veritabanı olan İsveç, Davos'ta bulunan 3 farklı merkez (Parsenn, Jakorbshorn ve Rinerhorn) test bölgesi olarak seçilmiştir. Doğrulama için bir hata matrisi kullanılmıştır. Çalışmada sadece eğim yaklaşımının yeterli olmadığı, tehlike haritalamasının belli bir rüzgâr rejimi gibi değişken meteorolojik koşullara güvenilir olarak bağlanamayacağını belirtmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, PRA parametrelerinin genellikle değişken olmayan topoğrafik parametrelerden seçildiği görülse de, bazı çalışmalarda, özellikle AHP metodu

ile yapılan çalışmalarda, değişken faktörlerinde nazara alındığı görülmüştür. Bühler vd. (2018), değişken faktörlü bir çalışmayı değerlendirmiş ve belirli bir rüzgar rejimine, yani değişken bir faktöre çığ salınım alanlarının güvenilir olarak bağlanamayacağını belirtmiştir. Maggioni (2005), topoğrafik parametreler üzerine odaklanması gerektiğini belirtmiştir. Değişken olan koşulların tahmin edilmesi zor ve çeşitli gözlemler ile diğer bilgiler gerektireceği açıktır. Değişken koşullara göre bir takım hesaplamaların yapılması şartların değiştiği takdirde hesapların geçersiz olacağı anlamına gelmektedir. Bu sebeple tez çalışması kapsamında elde edilen hassas topoğrafik veriler ile çığların tetikleyici unsurlarından olan değişken olmayan topoğrafik koşullar üzerinde durulmuştur.

### **1.3. Topoğrafik Parametreler ile Potansiyel Çığ Başlama Bölgelerinin Belirlenmesi**

Maggioni ve Gruber (2003), İsviçre'nin Davos bölgesinde yaklaşık 300 km<sup>2</sup>lik bir alanda, 50 yıllık, yaklaşık 4500 çığ olayını içeren veri tabanı üzerinden bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmayı oluştururken çığların başlama bölgelerinin belirlenmesi için gerekli parametreler; yamaç eğimi, eğrisellik, bakı ve ana tepe sırtlarına olan uzaklık olarak seçilmiştir. Genel olarak çığlar yoğun ormanların bulunduğu ve çığ başlangıcını önleyebildiği durumlar dışında, belirli topoğrafik özelliklere sahip herhangi bir yamaçta başlayabilmektedir.

Maggioni (2005), aşağıdaki kriterleri kullanmıştır: orman örtüsü, eğim, eğrilik, ana sırtlara uzaklık, büyüklük, bakı ve yükseklik farkı. Ayrıca çalışmada yüzey pürüzlülüğünün kullanılmaması durumunda da sonuçların iyileştirilebileceğinden bahsetmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü için Sappington vd. (2007) potansiyel çığ başlama bölgelerinin tespitinde günümüzde yoğun olarak kullanılan VED (Vektör Engebelilik Değeri) değişkenini ortaya koymuşlardır. Bu parametre arazi pürüzlülüğünü ifade etmekte olup, çığ çalışmalarında doğrudan kullanılmaktadır.

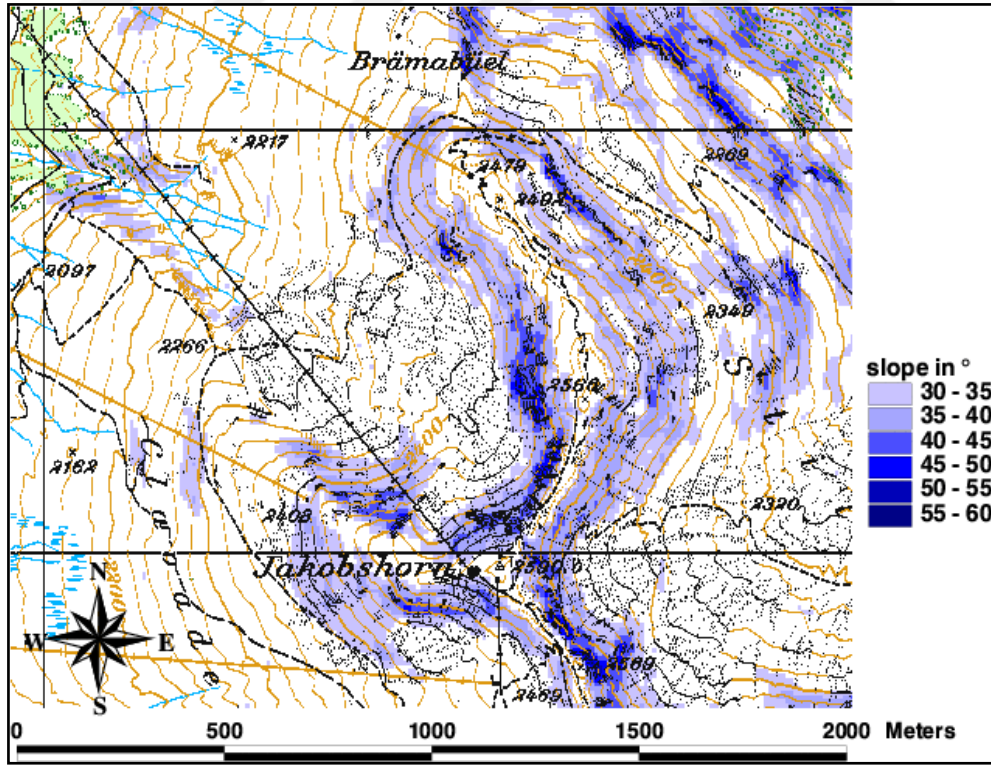
Çığ oluşumuna etki eden topoğrafik parametreler; eğim, eğrisellik, bakı, yüzey pürüzlülüğü, ana tepe sırtlarına olan uzaklık ve ormanlık alanlardır.

### 1.3.1. Eğim

Eğim, bir raster veri için her hücreinde 'z' değerindeki maksimum değişim oranıdır. Eğim değeri ne kadar düşük olursa arazi o kadar düz, ne kadar yüksek olursa o kadar dik olur. Eğimin hesaplamasında 3 x 3 boyutunda hareketli bir yüzey tarama penceresi kullanılır ve pencerenin ortasında yer alan hücrenin eğimi hesaplanır(URL-4).

Yamaç eğimi; ilk seçim olup, yalnızca 30 ° ile 60 ° arasında eğim açısına sahip olan arazideki potansiyel çığ salma alanları olarak düşünülür. Çığ, tanımında yer alan herhangi bir kütlemin eğim boyunca yerçekimi yönüne doğru kaymasıdır, buna karşın 60° üzerinde ve 30° altında herhangi bir çığ olayı ile karşılaşılmasının nedeni; 60° üzerinde çığ oluşturabilecek yoğunlukta kar birikiminin olmaması, 30° altında ise çığ oluşturabilecek tabakada kayma meydana gelmemesi olarak ifade edilmektedir (Salm, 1982).

Daha yüksek ortalama eğim açıları, küçük çığların sık salınımına neden olur (Maggioni ve Gruber, 2003). Barbolini vd. (2009), ise 28° altında yer çekiminin çok zayıf olması ve 50 ° üzerinde olan yamaçlarda çok sık küçük çığların olduğunu belirtmiştir.



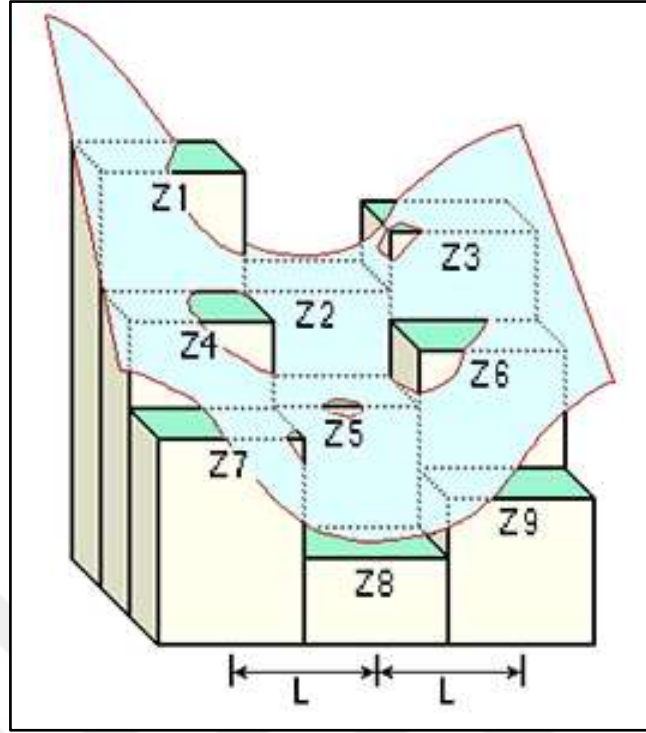
Şekil 6. Eğim açısına göre PRA alanları (Maggioni ve Gruber, 2003)



### 1.3.2. Eğrisellik

Eğrisellik (plan ve profil eğriselliği), arazinin çığ akma hattı boyunca eğimdeki değişimler olup, arazinin içbükey, düz ve dışbükey olması durumudur. Eğrisellik yüzeyin ikinci türevi olarak hesaplanır (Maggioni, 2005). Plan ve profil eğriselliği yüzeye yakın akışın hızlanması ve yavaşlaması ile içbükeylik ve dışbükeyliği için belirleyici etkindir (Gallant ve Wilson, 2000; Mosley, 1974; D'Souza ve Morgan, 1976). Eğimin şekli, yüzeyde biriken kar derinliğini etkiler (Luckman, 1978). İçbükey bir plan eğriliğine sahip olan çığ yolları, esen karı rüzgâr yönüne göre birkaç yönden hapsedebilirken, dışbükey bir plan eğriselliğine sahip çığ yollarında kar rüzgar etkisi ile sık sık üflenir (Armstrong ve Williams, 1986). İçbükey yamaçların çığ oluşumunda pozitif yönde bir etkisi varken dışbükey yamaçların çığ oluşumunda negatif bir etkisi vardır. Gleason (1995) ve Mc'Clung (2001) içbükey plan eğriselliğine sahip PRA bölgelerinde çığların daha sık olduğunu bulmuştur.

Eğriliğin hesaplanabilmesi için Zevenbergen ve Thorne (1987) tarafından açıklanan 2. Dereceden bir polinom (2) kullanılır. Polinomun uygulanabilmesi için 3x3 boyutunda bir yüzey kullanılır. Metot ArcGIS içerisinde bulunan bir araç ile uygulanır. Sonuç çıktı olarak, girdi raster üzerinden hesaplanan dışbükey ve içbükey eğrisellik değerleri üretilir. Metodun matematiksel modeli aşağıda açıklanmıştır (URL-5). Metodun uygulaması için örnek, Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Eğrisellik yüzeyi hesaplanması, L; Raster çözünürlüğü (ESRI, 2019)

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad (2)$$

$$A = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4 \quad (3)$$

$$B = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3 \quad (4)$$

$$C = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3 \quad (5)$$

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2 \quad (6)$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2 \quad (7)$$

$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2 \quad (8)$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L \quad (9)$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L \quad (10)$$

$$I = Z5 \quad (11)$$

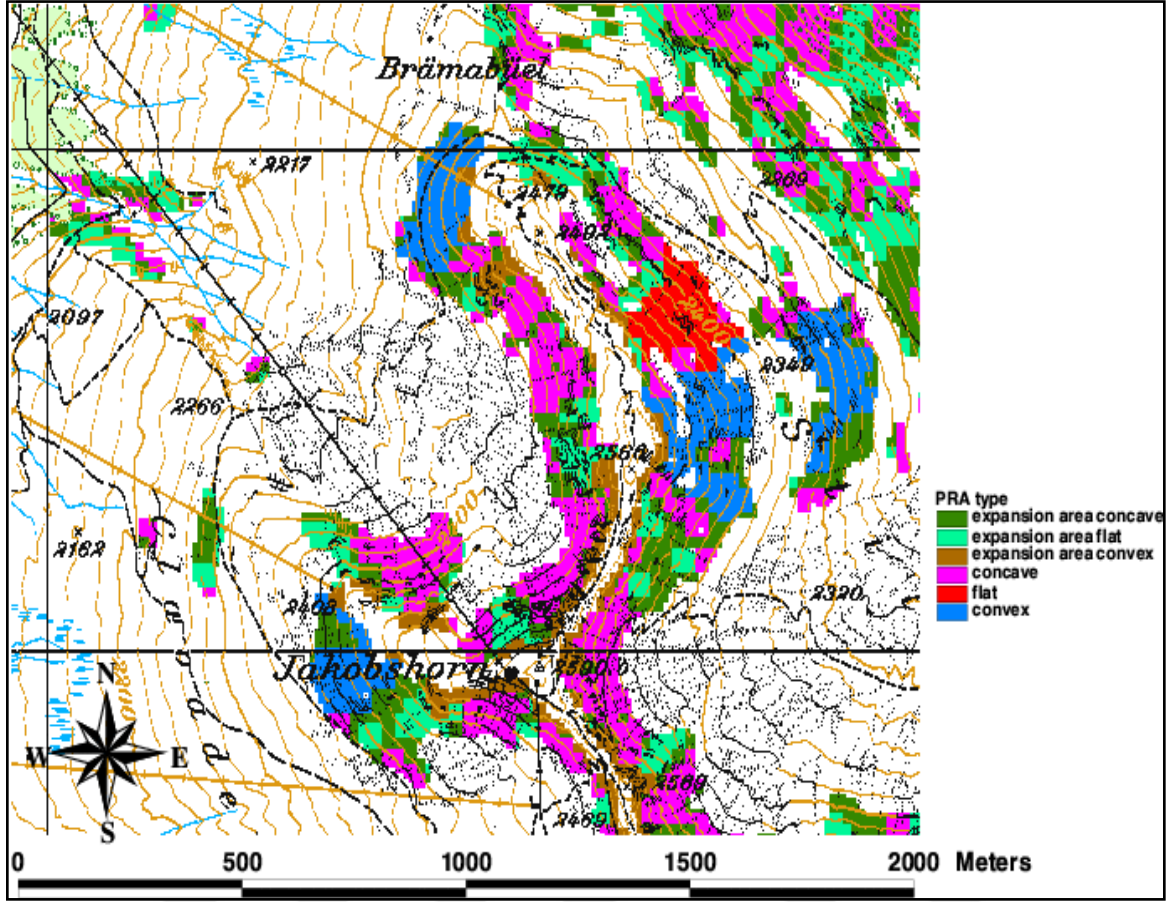
$$\text{Eğrisellik} = -2(D + E) * 100 \quad (12)$$

Maggioni ve Gruber (2003), Maggioni (2005), plan eğriselliğini tespit etmek için en küçük piksel boyutunu 50 m olarak seçmişlerdir. Çözünürlüğün bu değere kadar düşürülmesinin sebebi, arazinin gerçek topoğrafik özelliklerinin yansıtılması yani küçük çukurlar ve tepecikler gibi arazinin topoğrafyasının küçük karakteristik özelliklerinin eğrisellik olarak algılanmasını engellemek içindir.

Plan eğriselliğini tespit edebilmek için ArcGIS yazılımında bulunan bir “tool” yardımı ile “3B Analiz/Eğrisellik” ya da “Konumsal Analiz/Eğrisellik” uygulamaları ile tespit edilebilir (URL-2). Maggioni ve Gruber (2003), plan eğriselliğini kullanarak içbükey ve dışbükey alanları birbirinden ayırmışlardır.

- Eğrisellik > 0,2 olması durumunda, dışbükey,
- $-0,2 < \text{Eğrisellik} < 0,2$  olması durumunda, düz,
- Eğrisellik < - 0,2 olması durumunda, içbükey yamaçlar tespit edilebilir.

Burada 0,2 değerinin bağlayıcı olmasının sebebi, 50 m çözünürlük değerine sahip bir SYM verisinin 0,2 eğrisellik değerinde arazide yer alan 2,5 m değişimlere karşılık gelmesidir (Maggioni, 2005). Çığlar genellikle kar tutmayan dışbükey alanlarda değil, daha çok kar tutma özelliği olan içbükey alanlarda meydana gelirler. Dışbükey potansiyel salma alanları genellikle düşük bir çığ aktivitesine sahiptir ve çoğu zaman bütün potansiyel çığ salınım alanlarının sadece küçük bir kısmı salınır (Maggioni ve Gruber, 2003).



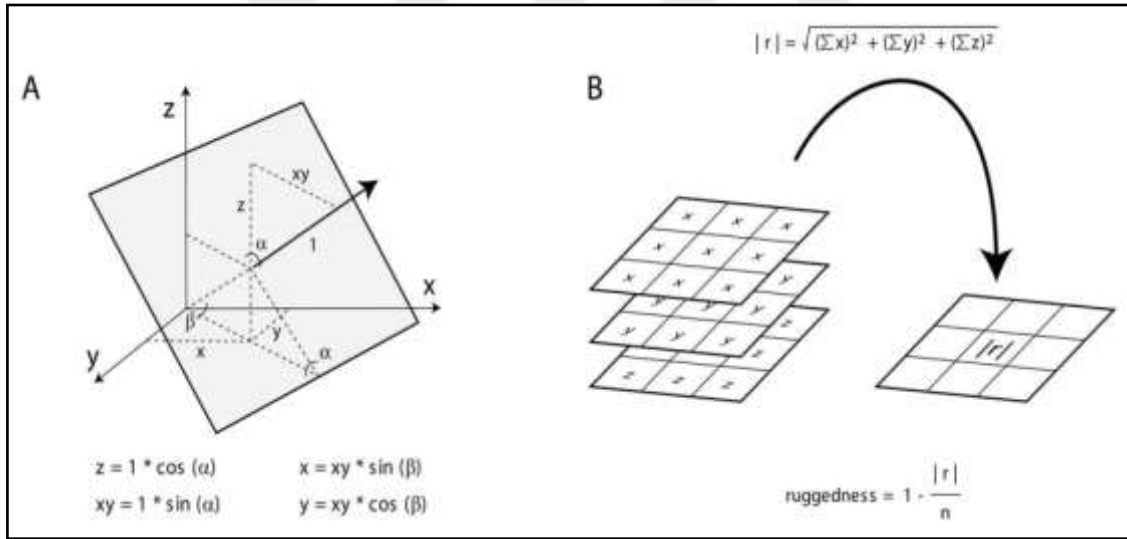
Şekil 8. Eğrisellik (Maggioni ve Gruber, 2003)

### 1.3.3. Bakı

Bakı, yamacın baktığı yön olup, güneş ışınlarının yamaca ulaşma açısını belirlemektedir. Bakı özelliği düz arazilerle eğimi çabuk değişen arazilerin ayrımı amacı için kullanılır. Eğrilikle iyi tanımlanmayan, düz alanlar olarak kabul edilen alanlar daha sonra ortalama bakının farklı değerleri ile ayrılır, böylece farklı yönlere bakan alanlar bağımsız kabul edilir (Maggioni ve Gruber, 2003). Örneğin bir arazi; kuzeydoğu yönünden kuzeybatı yönüne ani bir değişim gösteriyor ve potansiyel çığ salınım başlama bölgesi olarak gerekli şartları sağlıyorsa, bu alanda belirlenen potansiyel çığ salınım alanı kuzeydoğu ve kuzeybatı bakılarında ikiye bölünür.

### 1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, potansiyel çığ salınım alanı olarak tespit edilen yerlerde çığ akışını engelleyecek büyüklükte yüzey engebeliğinin bulunması durumunda, bu gibi alanların elimine edilmesi amacıyla kullanılan bir parametredir. Özellikle son yıllarda CBS tabanlı potansiyel çığ salınım bölgelerinin belirlenmesinde Sappington vd. (2007), yaptıkları çalışma ile yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik kurdukları algoritma kullanılmaktadır. Söz konusu algoritma CBS veritabanında bakı ve eğim özelliklerinden faydalanılarak yüzey engebelik değerini ortaya koymaktadır. Bahse konu çalışmada, CBS teknoloji yardımıyla topoğrafik bilgiler 30 m hassasiyetinde olan SYM haritalarından elde edilmiştir. SYM verisi üzerinden eğim ve bakı parametrelerinin olduğu yeni eğim ve bakı haritaları elde edilmiş, trigonometrik hesaplamalar kullanılarak, eğim ve bakı değerlerinden her bir piksel için x, y ve z bileşenlerine ayrıştırılmıştır.



Şekil 9. VED hesaplanma şekli (Sappington vd., 2007)

Eğim haritasındaki her bir pikselin eğim radyan değerinin sinüsü alınınca “xy” değeri bulunur. Bu değer bakısının radyan cinsinden sinüsü alınınca tek başına “x” değeri, kosinüsü alınınca tek başına “y” değeri bulunur. Eğim haritasında her bir pikselin eğim radyan değerinin kosinüsü alınınca tek başına “z” değeri bulunur. Daha sonra hesaplanan x, y ve z değerlerinden karelerinin toplamının karekökü sonuç vektör değerini (|r|) verir. Burada pikseli kaç tane komşu piksele karşılaştırmak istediğimize göre -Sappington vd.

(2007), 3 piksellik bir yüzey değerini kullanmışlardır- belirlenecek komşu piksel sayısına bölüp 1 değerinden çıkardığımızda “VED (Vektör Engebellek Değeri)” bulunur. Sağlamlık değerinin herhangi bir boyutu bulunmamakla beraber, 0 değeri düz alanları, 1 değeri oldukça engebelle alanları göstermektedir.

### **1.3.5. Ana Tepe Sırtlarına Uzaklık**

Ana tepe sırtlarında çığların oluşumunun olmaması, dışbükey potansiyel salma alanları genellikle düşük bir çığ aktivitesine sahiptir ve çoğu zaman bütün potansiyel çığ salınım alanlarının sadece küçük bir kısmı salınır (Maggioni ve Gruber, 2003). Dışbükeylik durumunda Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) oluşturulan SYM piksellerinin bakışının çok farklılaştığı, eğrisellik değerlerinin çok yüksek pozitif değerlerde olduğu alanlar seçilmelidir.

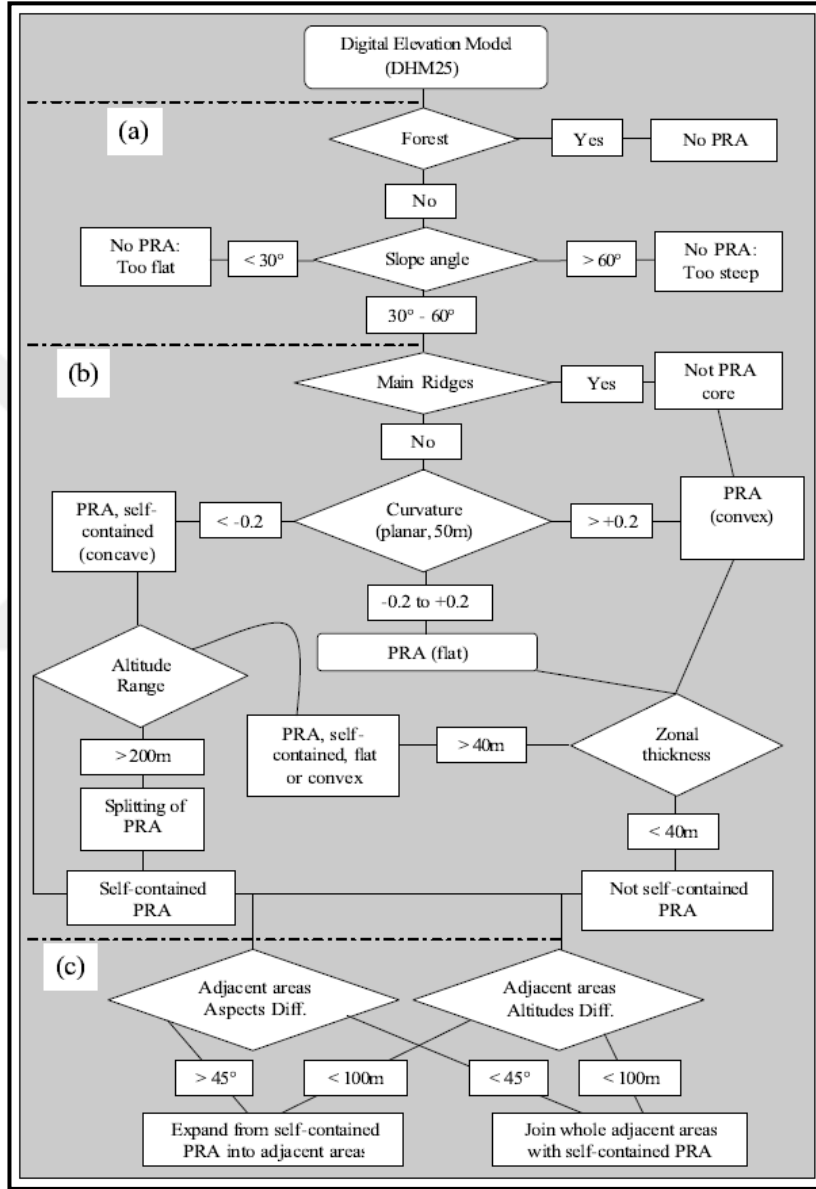
### **1.3.6. Orman**

Genel olarak çığlar yoğun ormanların bulunduğu ve çığ başlangıcını önleyebildiği durumlar dışında, belirli topoğrafik özelliklere sahip herhangi bir yamaçta başlayabilir (Maggioni ve Gruber, 2003). Maggioni (2005), ilk olarak çalışma bölgesinde orman olup, olmadığını test etmiş ve orman olan alanlar potansiyel çığ başlama bölgesi dışına çıkarmıştır.

## **1.4. Topoğrafik Parametrelerin Kullanılması**

Potansiyel çığ salınım alanlarının tespitinden etkili topoğrafik parametrelerin kullanılması için Maggioni (2005), bir algoritma önermiştir. Algoritmaya ilişkin akış diyagramı Şekil 9’da ifade edilmiştir. Algoritmada ilk olarak ormanlık alanlar PRA dışı bırakılır. Eğim açısı  $30^\circ$  ile  $60^\circ$  arasındaki alanlar seçilir. Bütün şartları sağlayan alanlar tespit edilip, belirlenen başlama potansiyel çığ salınım alanlarının yükseklik değişiminin 200 m’den büyük olması durumunda bu alanlar, bağımsız başlama bölgesi olarak yani tek başına potansiyel çığ salınım alanı olarak değerlendirilmiştir. Küçük başlama bölgeleri için eğimi  $45^\circ$ ’nin üzerinde olan bir noktada ise ve birbirine 100 m’den daha yakın

olduklarında (birbirlerini tetikleyecek durumda olmaları ve beraber etkili bir çığ oluşturabilecekleri sebebiyle) bu alanlar birleştirilerek yine potansiyel çığ başlama bölgesi olarak değerlendirilmiştir (Maggioni, 2005). Maggioni (2005)'te oluşturulan algoritma Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. PRA tespiti için hazırlanan algoritma (Maggioni, 2005)

Bu tez çalışmasında yapılan çalışmalar kısmında PRA tespiti için uygun bir ölçek belirlenerek yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Ayrıca tez çalışmasının nihai hedefi olan GAZ-EX makinelerine yer tespiti için çalışma alanındaki topoğrafik parametreler kullanılarak

PRA alanlarına ulaşılmış, PRA alanı olmasına karşın mevcut durumda afet niteliği taşımayacak alanların belirlenmesi için havzalar ve drenaj ağları tespit edilmiş ve elimine edilerek, son PRA haritasına ulaşılmıştır.





## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

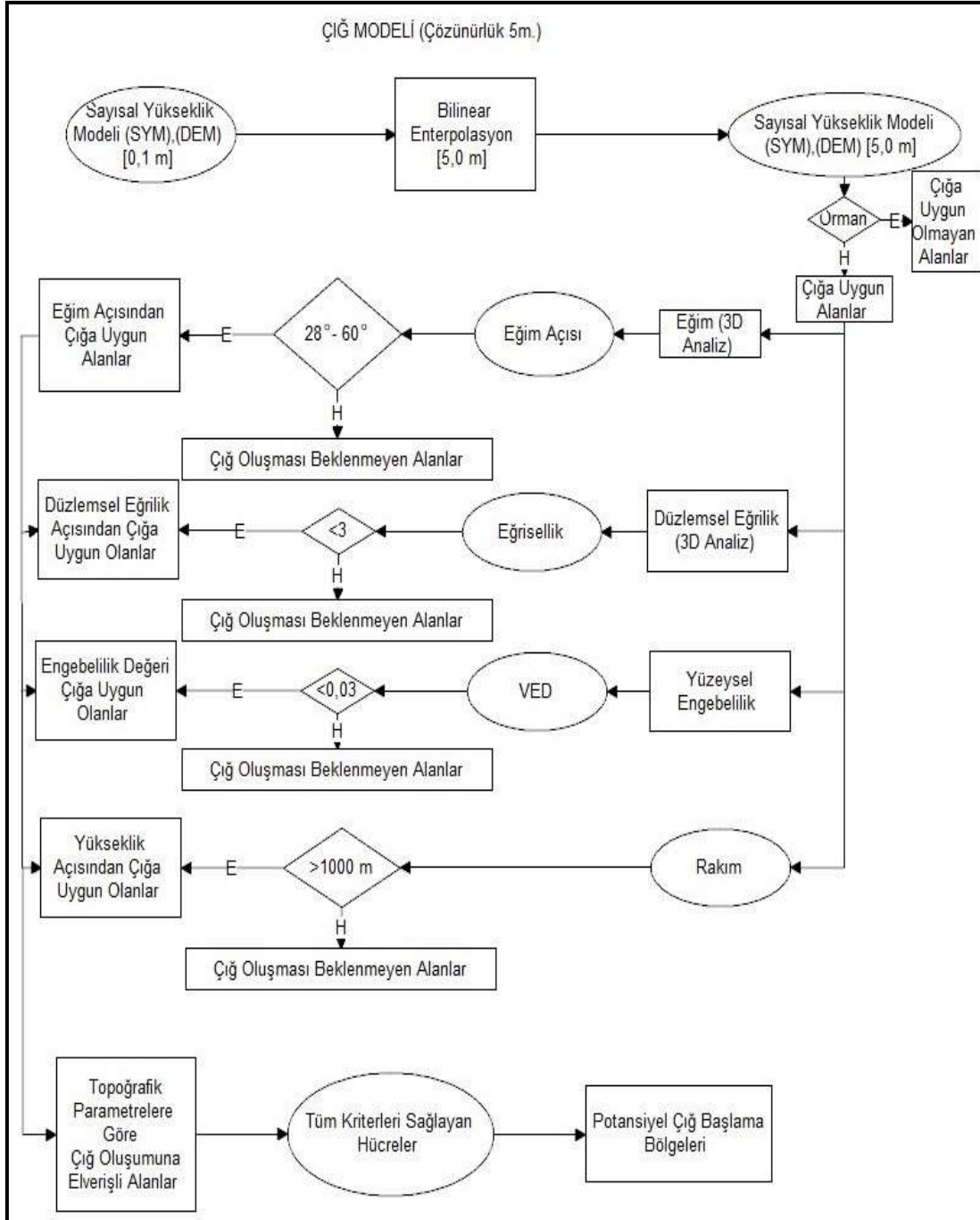
Bu tez kapsamında literatürde bulunan PRA tespiti ile ilgili olarak gereken etken parametrelere karar verilmiş ve parametrelere uygun eşik değerleri belirlenmiştir. Çalışmada yeni bir yaklaşım modeli önerilmiş ve uygulanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen yüksek konumsal doğruluklu veriler kullanılarak ve CBS teknikleri yardımıyla PRA bölgeleri tespit edilmiştir. Verilerin (10 cm. düzeyinde) yüksek 3 boyutlu konumsal doğruluğu sınır belirleme çalışmasında kolaylık getirmiştir. Verilerin PRA bölgelerinin tespitinde 5 m. konumsal çözünürlüğe getirilmesi ile küçük ve tehlike içermeyen potansiyel çığ başlama bölgelerinin oluşması engellenmiştir. Böylece tutarlı ve gerçekçi PRA sonuçları elde edilerek, GAZ-EX makineleri için yeni yer önerilerinde bulunulmuştur.

Tez çalışmasında yöntemimiz aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır;

- Çalışma alanı sınırlarının belirlenmesi,
  - 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden risk teşkil edebilecek bölgeler göz önüne alınarak, avam sınırların geçirilmesi,
  - 1/1000 ölçekli vektör haritalar üzerinden sınırın kontrol edilmesi ve netleştirilmesi,
- Çalışma alanına ait SYM verilerinin elde edilmesi,
  - SYM verilerinin, çalışma alanı sınırına uygun olarak kesilmesi,
- Çalışma ölçeğinin belirlenmesi,
  - Çalışma ölçeğinin belirlenerek diğer ilgili altlıklara yansıtılması,
- Çalışma alanına ait meşcere haritalarının elde edilmesi,
  - Meşcere haritalarının çalışma alanı sınırlarına uygun hale getirilmesi,
  - Meşcere haritalarının orman yoğunluğunun incelenmesi,
  - Meşcere haritasının arazi üzerinde uyumunun test edilmesi,
- SYM verilerinden potansiyel çığ salınım alanlarının tespitine yönelik parametre haritalarının oluşturulması,
  - Eğim haritasının hazırlanması,
  - Bakı haritasının hazırlanması,
  - Eğrisellik haritasının hazırlanması,

- Yüzey pürüzlülüğü haritasının hazırlanması,
- Yükseklik haritasının hazırlanması,
- Drenaj haritasının hazırlanması,
- Tüm parametreler hazırlandıktan sonra bu tez kapsamında hazırlanan şekil 8.'de önerilen yaklaşıma göre potansiyel çığ salınım alanlarının tespit edilebilmesi,
  - Orman alanlarının Potansiyel çığ salınım alanlarının dışına çıkarılması,
  - Eğim, Eğrisellik, Yüzey Pürüzlülüğü ve yükseklik haritalarının konumsal analiz ile birleştirilmesi ve potansiyel çığ salınım alanlarının önerilen yaklaşıma göre tespit edilmesi,
  - Şekli ve büyüklüğü açısından Potansiyel Çığ Başlama Bölgelerinin manuel kontrol edilmesi,
  - Bakı, drenaj ve havza haritasına göre, potansiyel çığ başlama bölgelerinin ayıklanıp, bölünmesi,
  - Çalışma Sonucunda Nihai Potansiyel Çığ Başlama Bölgelerinin Haritasının ortaya çıkarılması,
- 2006 yılında, çalışma alanında, AFAD tarafından yapılan potansiyel çığ başlama bölgelerinin tespiti için hazırlanan harita ile iş akış diyagramına göre hazırlanan haritanın karşılaştırmasının yapılması,
- Ejder3200 ve AFAD uzmanlarının görüşü ile hazırlanan haritanın irdelenmesi, drenaj ve bakı haritasına göre değerlendirilmesi ve son şeklinin verilmesi,
- Mevcut GAZ-EX (yapay çığ makinelerinin) yerlerinin tespiti,
  - Mevcut yerlerin tespiti,
  - Bulunan potansiyel çığ başlama bölgelerine göre GAZ-EX önerileri,
  - GAZ-EX önerilerinin, uzman görüşü ile irdelenmesi adımlarından oluşmaktadır.

SYM verilerinden potansiyel çığ salınım alanlarının tespitine yönelik parametre haritalarının oluşturulması ve potansiyel çığ salınım alanlarının belirlenmesi için hazırlanan ve genel basamakları içeren önerilen yaklaşım modeli Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Önerilen yaklaşım

## 2.1. Çalışma Kapsamında Kullanılan Veriler

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan veriler;

- Erzurum Büyükşehir Belediyesi tarafından 2017 yılında üretilen çalışma alanına ait;

- 10 cm çözünürlüğünde SYM verileri,
- 10 cm çözünürlüğünde ortofoto haritası,
- 1/1000 ölçeğinde vektör haritalar,
- Palandöken Kayak Tesisleri Ejder 3200 tarafından üretilen, kml uzantılı kayak pisti haritası,
- Çalışma alanını içeren 1/25000 ölçekli topografik harita,
- Çalışma alanına ait uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Çalışmanın 5 m. konumsal çözünürlüğü olup, koordinat sistemi Avrupa Petrol Ölçme Grubu (The European Petroleum Survey Group, EPSG) Kodu: 5258 olan, TUREF TM42'dir.

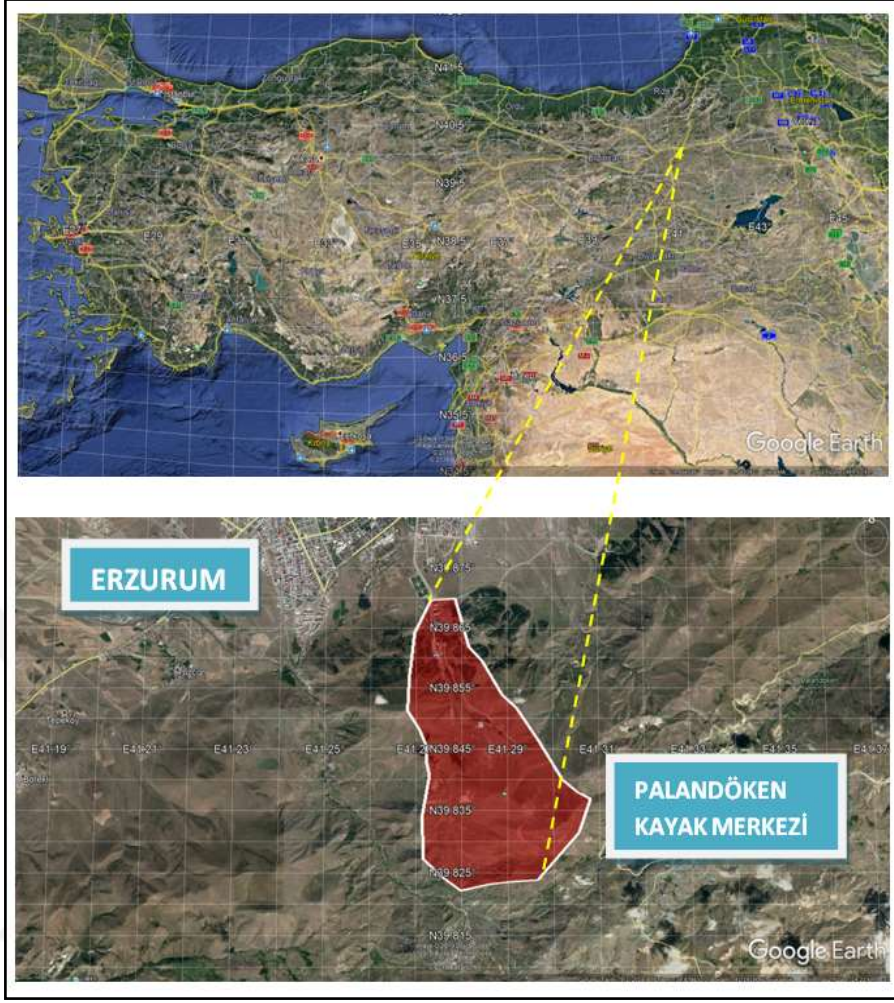
## 2.2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı; Erzurum İli, Palandöken İlçesi sınırları içinde yer alan Palandöken Kayak Merkezini kapsamaktadır. Erzurum İ46-b4, 1/25000 ölçekli paftasına isabet eden çalışma alanı yaklaşık olarak 13,60 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir (Şekil 3).

Çalışma alanının denizden en düşük yükseklik seviyesi 2168 m. olup, rakım güney kısımlara doğru 3202 m seviyelerine kadar çıkmaktadır. Çalışma alanının önemli yükseltileri; Büyük Ejder Tepesi (3202 m), Sultanseki Tepesi (2716 m), Gölçükgöz Tepesi (2800 m), Çiftesivri Tepeler (2665 m), Küçükejder Tepesidir (3090 m).

Çalışma alanı içerisinde kayak tesislerine ait teleskiler, telesiyejler ve gondol hatları ile bunların üniteleri, GAZ-EX cihazları, kafeler, turistik oteller ve tüm kayak merkezini bir ağ gibi saran kayak pistleri mevcuttur.

Çalışma alanı olan Palandöken Kayak Merkezi şehir merkezine araç ile 15 dakika uzaklıkta olup, şehir merkezinden ulaşım 5 km'lik bir karayolu ile sağlanmaktadır. Çalışma alanına kış aylarında ulaşım ring servisleri de ayrıca sağlanmaktadır.



Şekil 12. Çalışma alanı (URL-3)

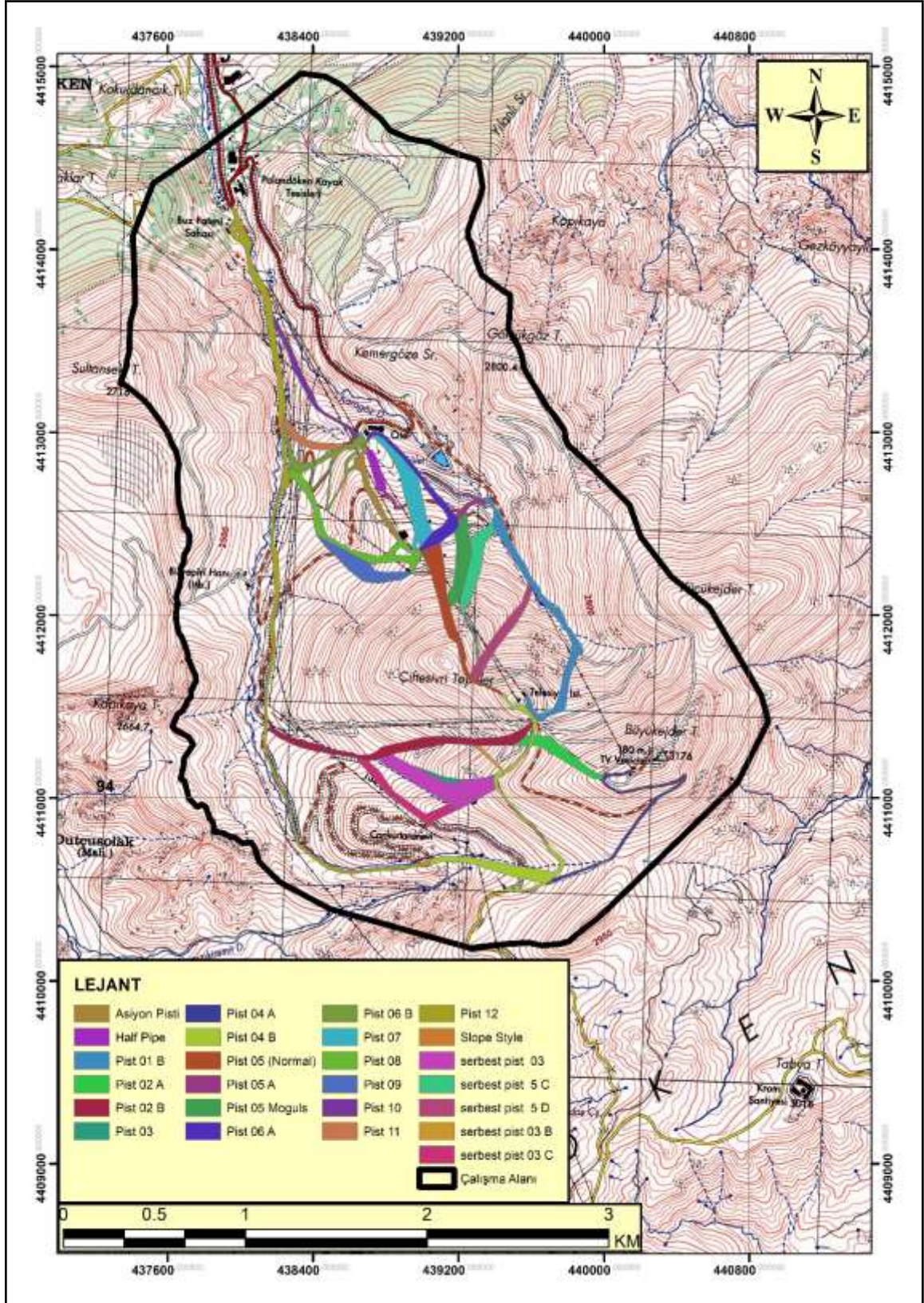
Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen meşcere haritalarına göre, çalışma alanının bitki örtüsü çoğunlukla ormansız topraktır. Bunun haricinde çalışma alanına isabet eden orman türleri;

- Çsa0: Sarıçam Gençlik (Arazi çalışması yapılmış fakat henüz dikim yapılmamış.)
- Kvab3: Kavak Gençlik Sırlıklık Direklik (%71 üzeri kapalılık oranı)
- Çsab3: Sarıçam Gençlik Sırlıklık Direklik (%71 üzeri kapalılık oranı)
- Çsa: Sarıçam Gençlik
- Çsb3: Sarıçam Sırlıklık Direklik (%71 üzeri kapalılık oranı) şeklindedir.

### 2.3. Çalışma Alanı Sınırlarının Belirlenmesi

Çalışma alanının sınırlarının belirlenmesi için öncelikle risk teşkil edebilecek yerlerin tespiti için Ejder 3200 Kayak Merkezleri sorumlularından alınan, kayak pistlerini gösterir “.kml” uzantılı pist haritası, ArcGIS ortamına değerlendirme yapılmak üzere getirilmiştir. Kayak pistlerine çığ oluşumu ile risk teşkil edecek tepelerin zirve noktalarından 1/25000 ölçekli topoğrafik harita (İ46-b4) üzerinden sınırlar geçirilmiştir. Oluşturulan sınır, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritanın her bir hücrenin 10 m çözünürlükte olması hasebiyle, 1/1000 ölçekli vektör haritalar üzerinde kontrol edilmiştir. Hazırlanan sonuç haritası Şekil 13’de görülmektedir.





Şekil 13. Çalışma alanı sınırı

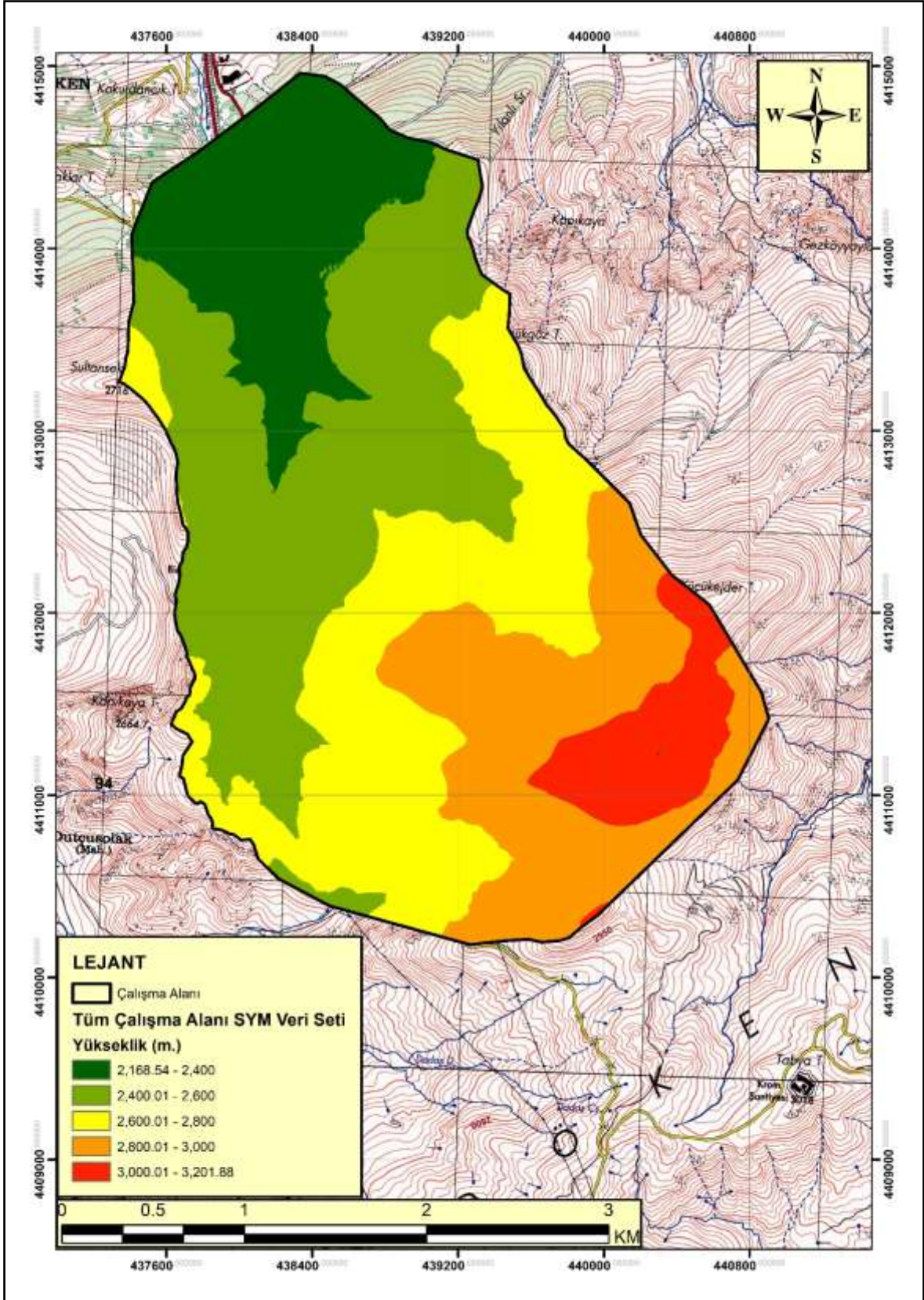
#### 2.4. Çalışma Alanına Ait SYM Verilerinin Elde Edilmesi

Çalışma alanı sınırları tespit edildikten sonra PRA bölgelerini tespit etmek amacı ile eğim, eğrisellik, yüzey pürüzlüğü, yükseklik parametrelerini üretebilmek için çalışma alanı sınırlarına uygun SYM veri setinin üretilmesi gereklidir.

Erzurum Büyükşehir Belediyesi tarafından 2017 yılı Temmuz ayı, 1,2 ve 3. günlerinde çekilen hava fotoğraflarından üretilen 10 cm hassasiyetindeki SYM verisi üzerinden çalışma alanı sınırlarımızı içeren bölge, ArcGIS yazılımında “Data Management Tools/Raster/Raster Processing/Clip” fonksiyonu yardımı ile kesilmiştir. Elde edilen SYM veri seti Şekil 14’de görülebilmektedir.







Şekil 14. Çalışma alanı SYM veri seti

## 2.5. Çalışma Ölçeği

Literatürde PRA belirlemek için genelde çok kaba konumsal çözünürlüğe sahip SYM verileri kullanılmıştır. Tez kapsamında çığ değerlendirmelerine yönelik yapılan literatür araştırmasında; Maggioni ve Gruber (2003), 25 m; Marek ve Barka (2009), 5 m; Suk ve Klimanek (2011), 5 m; Bühler vd. (2011), 30 m, Uçar (2014), 10 m; Cia vd. (2014), 5 m; Aydın ve Eker (2014), 10 m; Ersan vd. (2017), 10 m; Bühler vd. (2018), 5 m konumsal çözünürlüklerde çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Son yıllarda özellikle SYM verilerinin kalitesinin artması ve veriye ulaşmada CBS teknoloji ile yaşanan kolaylıklar sebebiyle, çalışmalarda kullanılan SYM verilerinin konumsal çözünürlüğünde ciddi bir iyileşme söz konusu olup, önceki yıllarda yapılan çalışmaları da dikkate alırsak genellikle çalışmalar 25 m konumsal çözünürlüktedir.

Bühler (2011), kullandığı veri setlerinin çözünürlükleri; 2, 25, 30 ve 90 metredir. Bu veri setleri üzerinde sayısal çığ simülasyonu ile aynı parametreler üzerinden gerçekleştirdiği çalışmada 30 m ve üzerindeki SYM verilerinin çığ ile alakalı çalışmalarda kullanılırken dikkatli olunması gerektiğini belirtmiştir.

Bühler (2013), düşük çözünürlüklü verilerle yapılan çalışmalarda, birçok küçük ve orta ölçekteki potansiyel çığ salınım alanının ihmal edilmesine, çok yüksek çözünürlüklü verilerle yapılan çalışmalarda ise çok küçük ve gerçekçi olmayan potansiyel çığ salınım alanlarının ortaya çıkacağını belirtmiştir.

Daha yüksek konumsal çözünürlüğe sahip veriler (1 ila 10 m), potansiyel çığ salınım alanlarının tespiti için büyük önem taşıyan eğrisellik ve pürüzlülük gibi parametrelerin daha hassas olarak hesaplanmasını sağlamaktadır (Bühler vd., 2018).

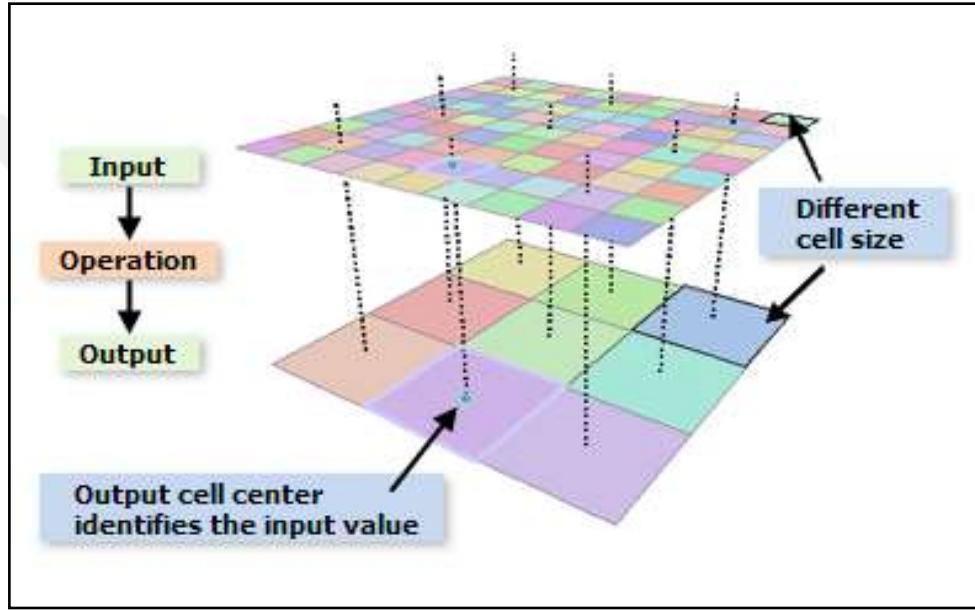
Çığ uzmanları ile yapılan görüşmeler değerlendirmelerde dâhil olmak üzere, çeşitli testlerde çığ salınımına ilişkin arazi özelliklerini göstermek için 5 m'lik bir çözünürlüğe sahip bir veri setinin yeterlidir (Bühler vd., 2018).

Çok hassas verilerle çalışmak, cm düzeyinde, birçok küçük tepe, taşlık, çukur gibi arazinin karakteristik özelliğinden ötürü oluşan engebeyi potansiyel çığ başlama bölgesi olarak karşımıza çıkarabilir.

Çalışma kapsamında elde bulunan 10 cm hassasiyetindeki SYM verilerinin kullanılması, birçok küçük tepe, taşlık, çukur gibi arazinin karakteristik özelliğinden ötürü oluşan engebeyi ve gerçekten çığ niteliğinde olmayacak küçük kar kütlesi hareketlerini, PRA bölgesi olarak karşımıza çıkaracaktır. Gerçekçi olan PRA bölgelerinin tespiti,

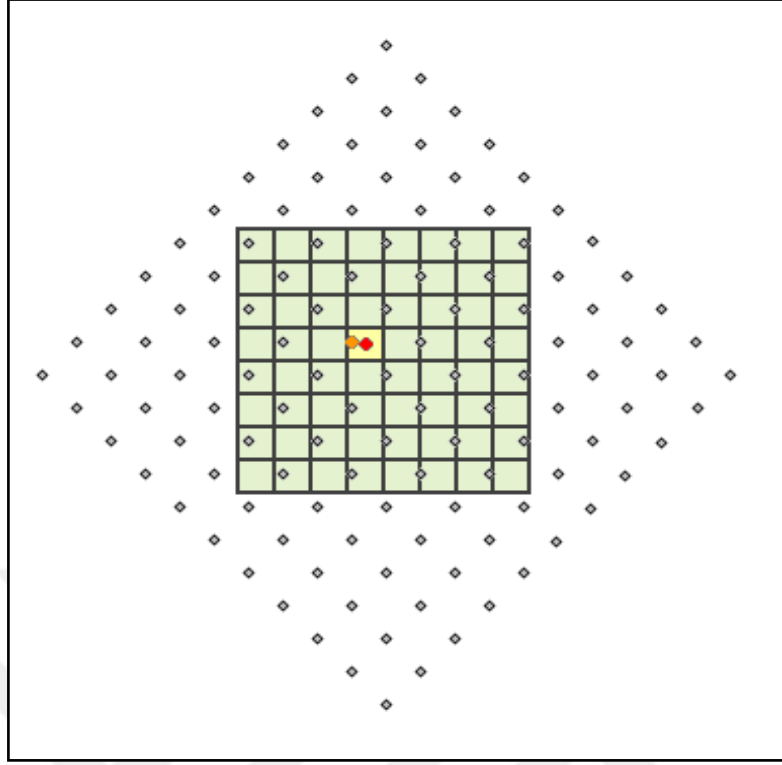
çalışmanın nihai amacı olan GAZ-EX yer tespitine yönelik çalışmanın en önemli unsurudur. Bu sebeple, konumsal çözünürlüğün çığ çalışması için gerçek arazi özelliklerini ortaya koyacağı düşüncesi ile 10 cm konumsal çözünürlüğe sahip veriler 5 m çözünürlüğe yeniden örnekleme yöntemleri ile getirilmiştir.

Yeni çözünürlüğün hesaplanması için, her hücrenin yeniden örneklenmesi gerekli olup, yeniden örnekleme için seçilen yöntem (en yakın komşuluk, çoğunluk, bilinear veya kübik enterpolasyon) ile yeni hücre boyutu ayarlanır.



Şekil 15. Yeniden örnekleme işleminin genel olarak gösterimi (URL-4)

En yakın komşuluk yöntemi, -bakı, arazi kullanımı vb.- ayrık (kategorik) veri setleri için tercih edilen yeniden örnekleme yöntemidir ve giriş veri setinin değerleri değiştirmeyip, hata miktarı hücre büyüklüğünün yarısı kadardır.

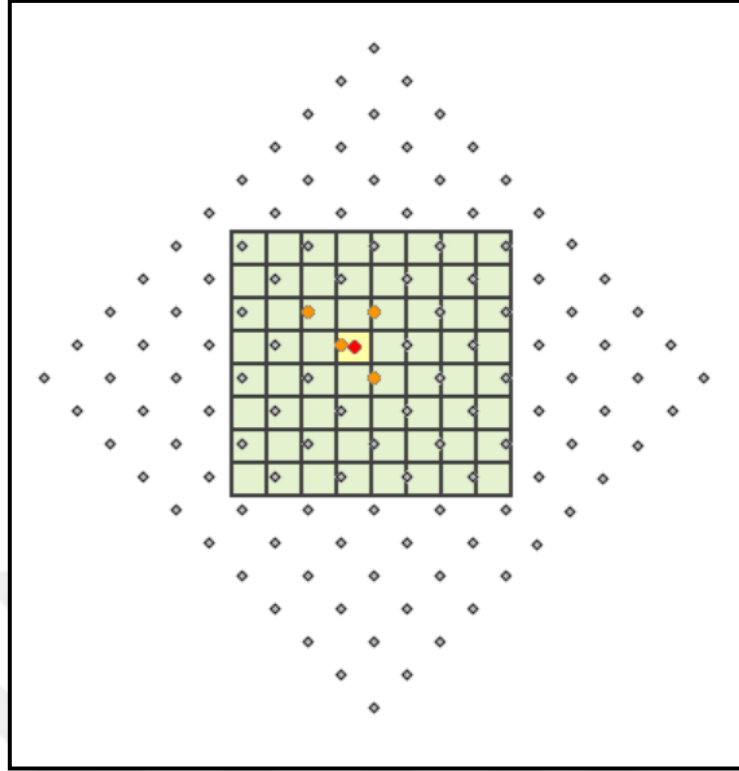


Şekil 16. En yakın komşuluk yöntemi temel gösterimi (URL-5)

Çalışmada kullanılan ve yeniden örnekleme konu olan veri setimiz 10 cm çözünürlüğündeki SYM verisi ayrık bir veri olmayıp, hüresel olarak sürekli bir veri seti olması nedeniyle bu yöntem tercih edilmemiştir.

Çoğunluk, en yakın komşuluk yöntemi ile aynı tabanda çalışmasına rağmen çoğunluk algoritması yöntemi bir çoğunluk algoritması kullanır. Yöntem, ayrık (kategorik) verilerde kullanılır, sonuçlar en yakın komşuluk yöntemine göre daha yumuşaktır. En popüler değere, yeni değeri entegre etmek üzere tanımlanmış olup, veri seti üzerinde 4 x 4 hücre boyutunda bir ızgara uygular ve sonuçlandırır (URL-6).

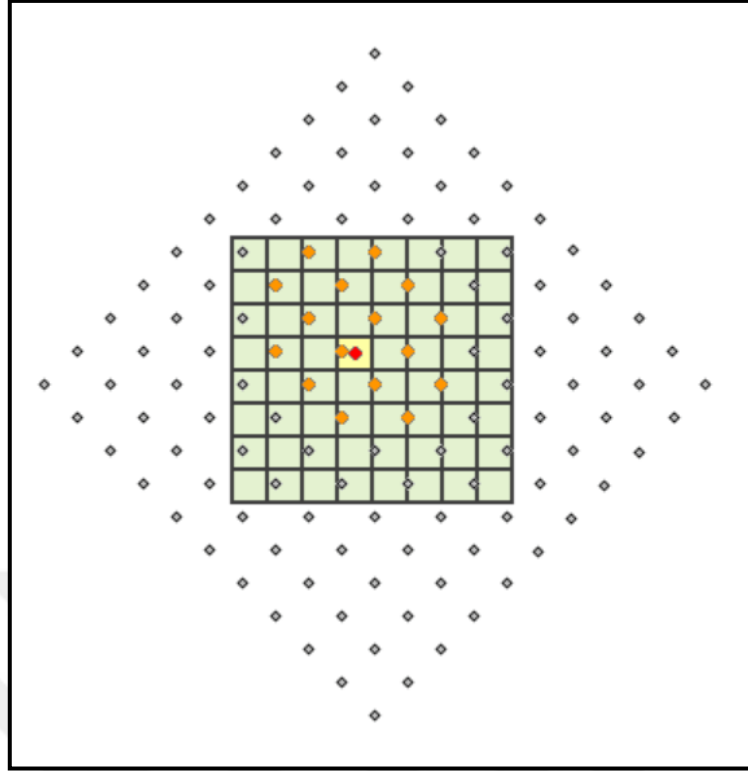
Bilineer Enterpolasyon, çıktı veri setinde yeniden örneklenecek her bir hücre için en yakındaki 4 hücrenin seçilerek, yeniden örneklenecek çıktı hücresine olan mesafelerine göre ağırlıklı ortalamasının alınması suretiyle yeni hücre değerinin elde edildiği bir yöntemdir.



Şekil 17. Bilineer enterpolasyon yöntemi temel gösterimi (URL-7)

Bilineer enterpolasyon kategorik olmayan, sürekli yüzeylerde - yükseklik, eğim, bir bölgenin ısı haritası vb.-, özellikle yüzey veri setlerinin yeniden örneklendirilmesinde kullanılır. Yöntem kullanıldığında yüzey bir miktar yumuşar ve yüzeyde yer alan delikler - değersiz atanmayan boş hücreler- giderilir ve yüzeyin sürekliliği sağlanır (URL-7).

Kübik Enterpolasyon, yeniden örnekleme için en az 16 noktaya ihtiyaç duyulan sürekli veriler için uygun olan bir enterpolasyon yöntemidir. Kübik enterpolsayonda, çıkış hücresi için, en yakın 16 hücre, çıkış hücresine olan mesafesine göre, ağırlıklı ortalaması alınır, ağırlıklı ortalama yeni hücrenin değeri olarak atanır.

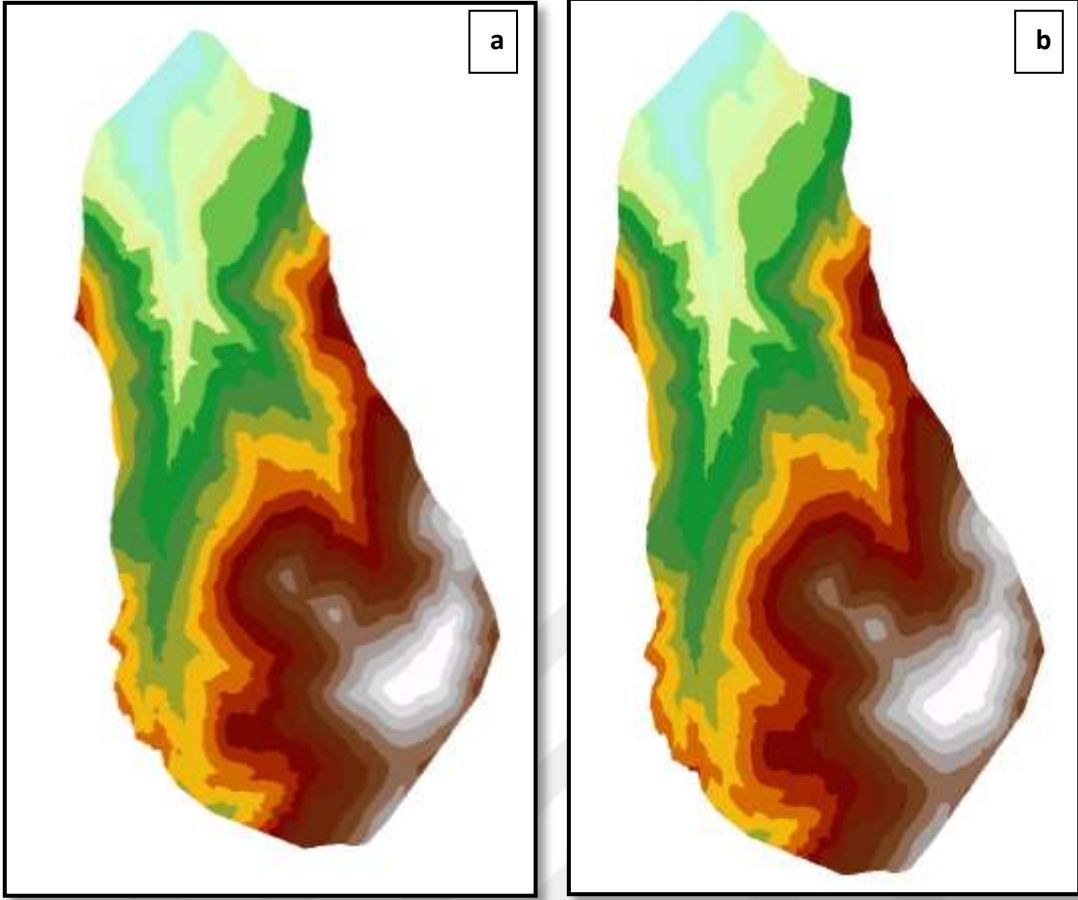


Şekil 18. Kübik enterpolasyon yöntemi temel gösterimi (URL-7)

Kübik Enterpolasyon, sürekli veriler ve özellikle mozaik raster haritaların yeniden örnekleme için kullanılır, ancak; 16 nokta üzerinden mesafeye bağlı olarak ağırlıklı ortalama alması sebebiyle görüntüleri keskinleştirir. Çünkü hücre girdi taramasının aralığının dışındaki -daha yüksek ve/veya düşük- değerleri içeren çıktı hücre değerlerine neden olabilir.

Yapılacak olan potansiyel çığ salınım alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmada, yukarıda bahsedilen yeniden örnekleme yöntemlerinden; bilinear enterpolasyon, sürekli veriler üzerinde kullanılması, araziye keskinleştirmemesi, arazi veri setinde yer alan bozuklukları gidermesi - deliklerin giderilmesi-gibi özellikleri dolayısıyla tercih edilmiştir.

Yeniden örnekleme işleminin yapılması için ArcGIS yazılımında “Data Management Tools” altında yer alan “Raster/Raster Processing/Resample” fonksiyonu kullanılmıştır. Yeniden örnekleme işlemi Şekil 19’da görülmektedir.

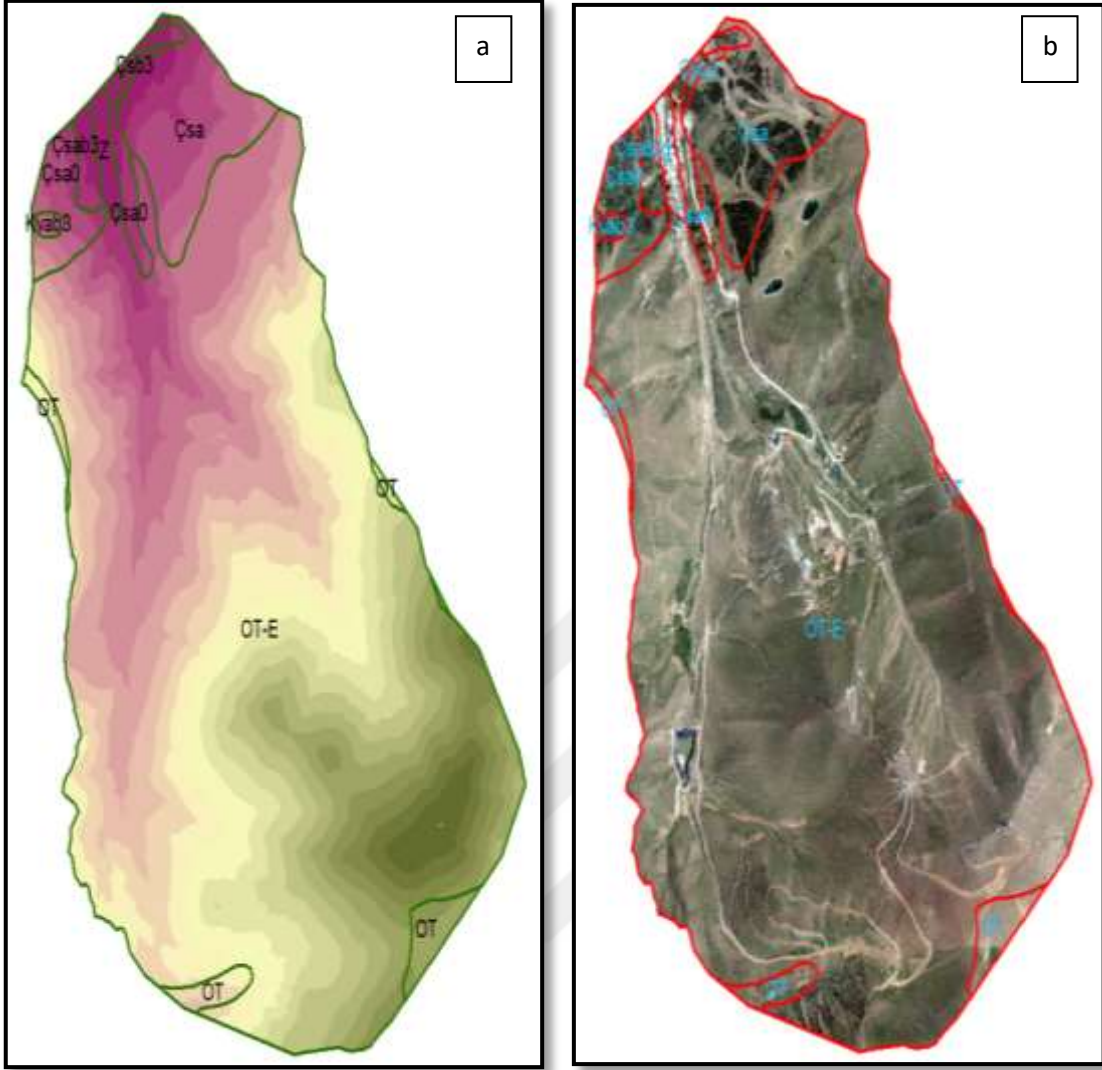


Şekil 19. Yeniden örneklenen SYM verisi; (a) 10 cm; (b) 5 m olmak üzere iki farklı çözünürlükteki SYM verisinin gösterimi

## 2.6. Orman

Dağlık bölgelerdeki ormanlar, çığ oluşumunu engelleyerek çığ azaltmada önemli bir rol oynar (Techel vd., 2013). Çığlar, orman örtüsü bulunmayan ve geçerli şartları sağlayan herhangi bir yamaçta başlayabilirler. Ormanların bulunduğu alanlar, basitçe potansiyel salma alanından hariç tutulur. Potansiyel çığ salınım alanı olarak belirlenecek olan alanlar, orman alanları hariç tutularak belirlenmelidir (Maggioni ve Gruber, 2003).

Çalışma alanında potansiyel çığ salınım alanlarını belirleyebilmek amacıyla, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğünden, çalışma alanına ait meşcere haritaları temin edilmiş ve alınan meşcere haritaları çalışma alanı sınırlarına uygun olarak ArcGIS ortamında kesilmiştir. Tezin 2.3. bölümünde oluşturulan yeni sınırlara göre kesilen meşcere haritası Şekil 20’de görülmektedir.

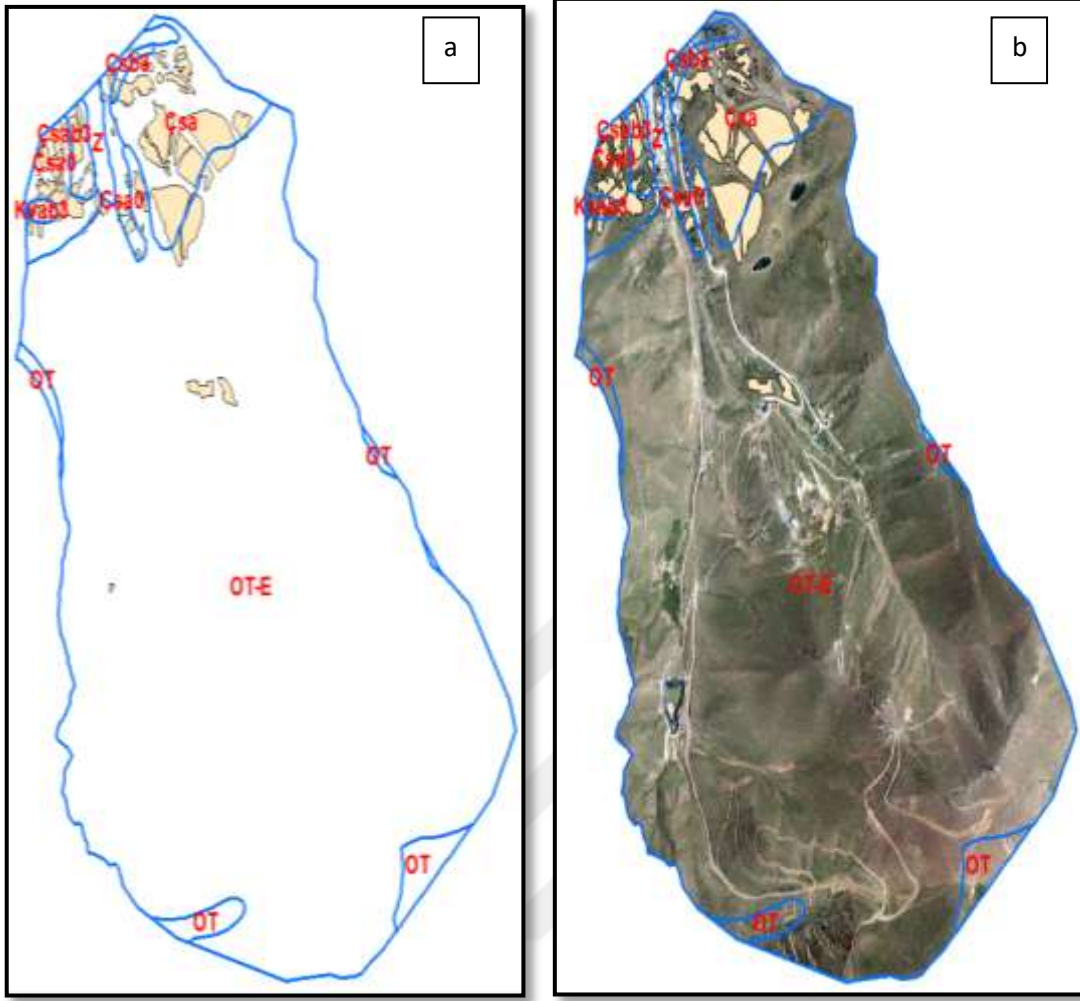


Şekil 20. Meşcere haritalarının; yükseklik haritası (a) ve mozaik raster haritaya (b) göre gösterimi

Çalışma alanında ormanlık alanlar, genellikle ormansız alanlardan (Z, Çsa0, OT-E ve OT) oluşmakta, kuzeye doğru ormanlık alanlar (Kvab3, Çsab3 ve Çsa) türlerinden artmaktadır.

Meşcere haritalarında yer alan ormanlık alan sınırları fiili arazide yer alan orman sınırlarını tam olarak yansıtamadığı görülmüştür. Bu sebeple, manuel olarak 10 cm çözünürlüklü mozaik raster harita üzerinden orman alanları belirlenmiştir.





Şekil 21. Fiili orman alanlarının, dağılımı (a); (b)ortofoto ile çakışık sınırlar

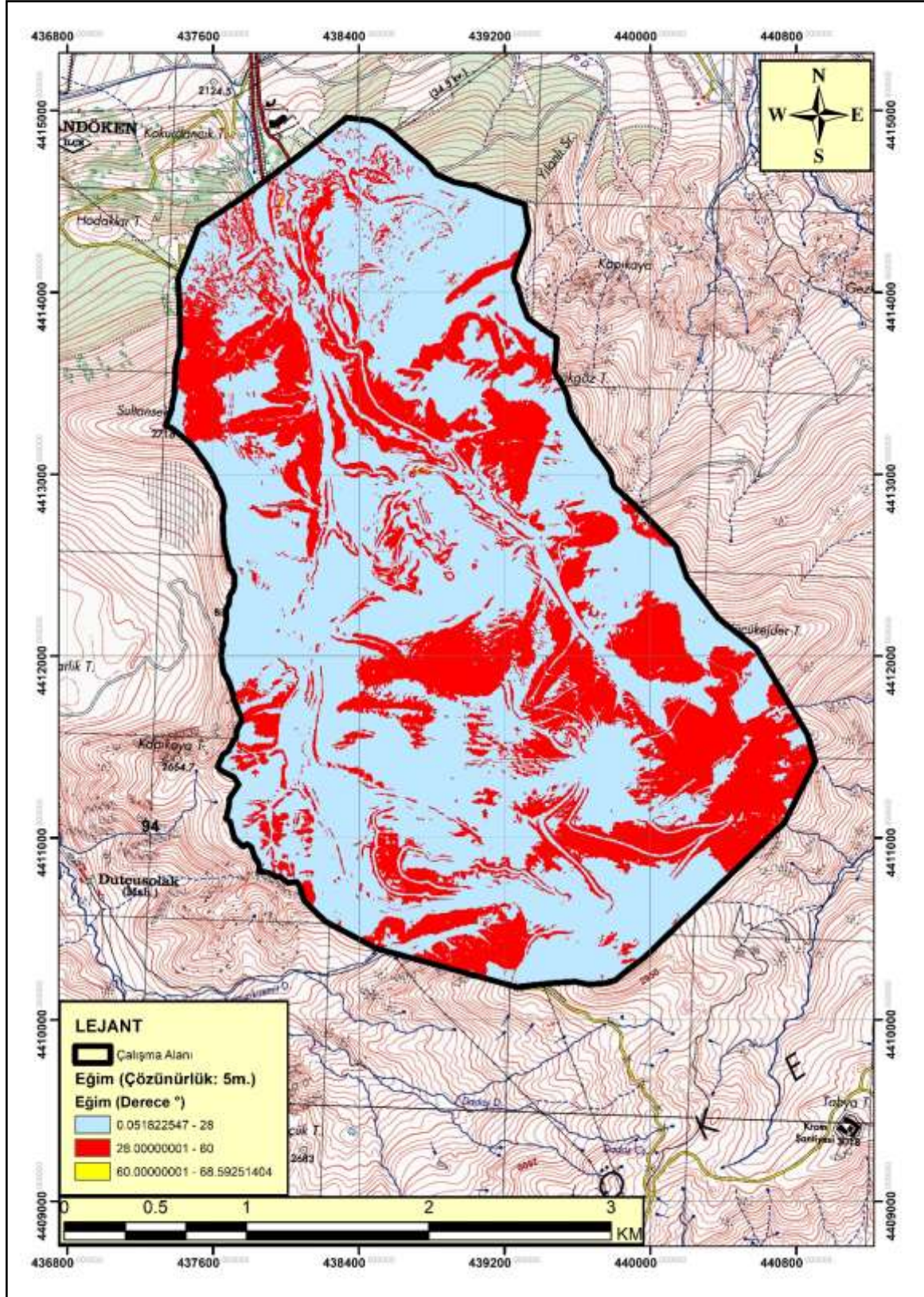
Şekil 21’de, (a) fiili ormanların (sarı renk ile gösterilen alanlar) Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü’nden alınan meşcere haritasına göre dağılımı, (b) 2017 yılı yaz aylarında çekilen mozaik raster veri setine göre dağılımı görülmektedir. Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda, araziye uygunluk açısından ve doğru potansiyel çığ salınım alanlarına ulaşmak için fiili orman sınırları dikkate alınacaktır.

## 2.7. SYM Verilerinden Potansiyel Çığ Salınım Alanlarının Tespitine Yönelik Parametre Haritalarının Oluşturulması

Potansiyel Çığ Salınım Alanlarının Tespiti için eğim, baki eğrisellik, pürüzlülük ve yükseklik gibi parametrelerin SYM verilerinden türetilmesi gerekmektedir. Eğim, SYM

veri setinden türetilen ilk parametredir. İkinci türev ise eğrisellik ve bakıdır (Maggioni ve Gruber, 2003).

İlk çığ çalışmalarından olan Voellmy (1955), eğim parametresini kullanmıştır. Çığ çalışmaları ile ilgili yapılan hemen hemen bütün araştırmalar eğim parametresini eksiksiz olarak temel almışlardır. Literatürde yaygın olarak çığların  $30^\circ$  ila  $60^\circ$  arasında meydana geldiği (Salm, 1982) bildirilse de bazı çığların  $30^\circ$  altında meydana geldiği görülmüştür. Bu sebeple bazı çalışmalarda (Barbolini vd., 2009; Bühler vd., 2013; Uçar, 2014) eğim açısının alt sınırının  $28^\circ$  olarak baz alındığı görülmüştür. SYM veri setinden türetilen ilk parametre olan eğim için, güven aralığında kalmak amacıyla bu çalışmada eğim alt eşik sınır değerini,  $28^\circ$  olarak; eğim üst eşik sınır değerini ise  $60^\circ$  olarak seçilmiştir. Hazırlanan eğim haritası Şekil 22’de görülmektedir.



Şekil 22. Çalışma alanı sınırlarına göre elde edilen eğim haritası

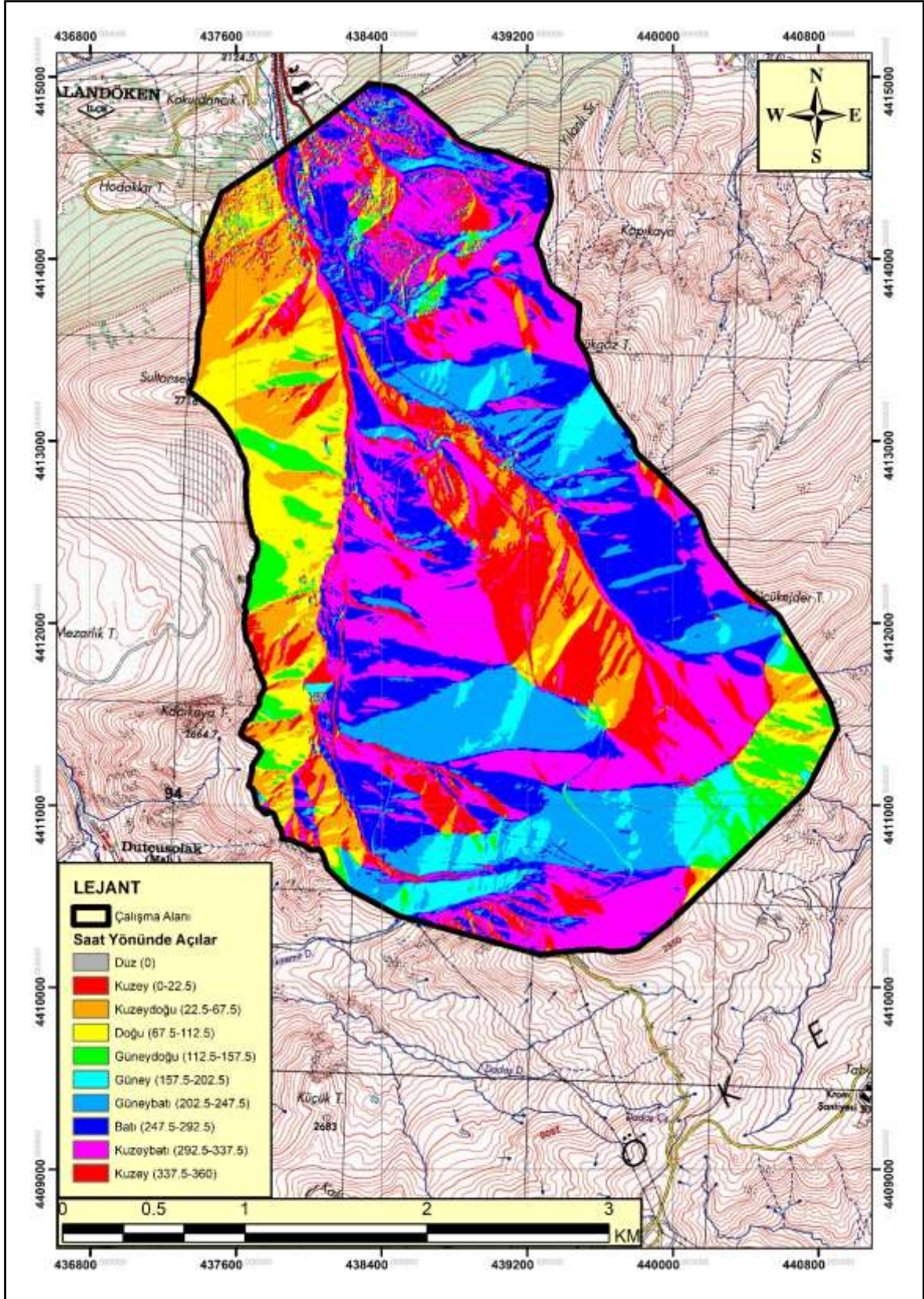


Bu sebeple, kuzey yamaçlar, güney yamaçlara nazaran; doğu yamaçlar, batı yamaçlarına nazaran çığa daha duyarlıdır.

Çalışma alanı bölgesi olan Erzurum İli sınırları dâhilinde bakı çığların oluşumunda doğrudan etki göstermemektedir (Uçar, 2014). Ejder 3200 çığ uzmanları ile yapılan görüşmelerde çığların genellikle kuzey, kuzeydoğu, kuzeybatı gibi çığ beklenen bakı yönlerinin aksine güney, güneydoğu, güneybatı, doğu ve batı yönlerinde meydana geldiği bildirilmiştir.

Eğrilikle iyi tanımlanamayan düz olarak kabul edilen alanlar, daha sonra ortalama bakımın farklı değerleri ile ayrılır, böylece farklı yöne bakan alanlar bağımsız olarak kabul edilir (Maggioni ve Gruber, 2003). Bakı, farklı potansiyel çığ salınım alanları arasında genellikle çatlak yayılımını sınırladığı için, kilit bir özelliktir (Herwijnen vd., 2016).

Bakı etkisi çalışmalarımıza bir parametre olarak diğerleri gibi doğrudan dâhil edilmese de, dolaylı olarak eğrisellik üzerinde etkisi vardır. Ayrıca yüzey engebellelik tespit edilirken, bakı parametresinin çeşitli türevlerinden yararlanılır, bu sebeple, bakı doğrudan olmasa da dolaylı olarak çalışmalarımızda kullanılacaktır. Şekil 24'de hazırlanan Bakı Haritası görülmektedir.



Şekil 24. Çalışma alanı baki haritası

Eğrisellik, bir pikselik içbükey ya da dışbükey olma durumudur. Plan eğriselliği bakımın bir kontur çizgisi boyunca değişimini ifade etmektedir. Maggioni (2005), eğriselliği tespit etmek için 50 m çözünürlüğe sahip SYM verileri kullanmıştır. 50 m çözünürlük arazide 2,5 m'ye tekabül etmektedir. Arazideki 2,5 m'lik değişimin tespit edilmesi için alınması gereken içbükey eğrisellik değeri  $< - 0,2$ 'dir. Bühler vd. (2018) yaptığı çalışmada 5 m çözünürlüklü SYM verileri üzerinde eğrisellik eşiğini 3 olarak kullanmıştır. Eğriselliğin üretilmesinde önemli olan giriş raster hücre boyutu (çözünürlüğü) ve sonuç çıktıda göz ardı edilebilecek yükseklik değişimidir. Bu çalışmada kullanılan SYM verilerinin çözünürlüğü 5 m olduğu için literatürde yer alan '3' eğrisellik eşiği kullanılmış, elde edilen eğrisellik haritası Şekil 25'te görülmektedir.



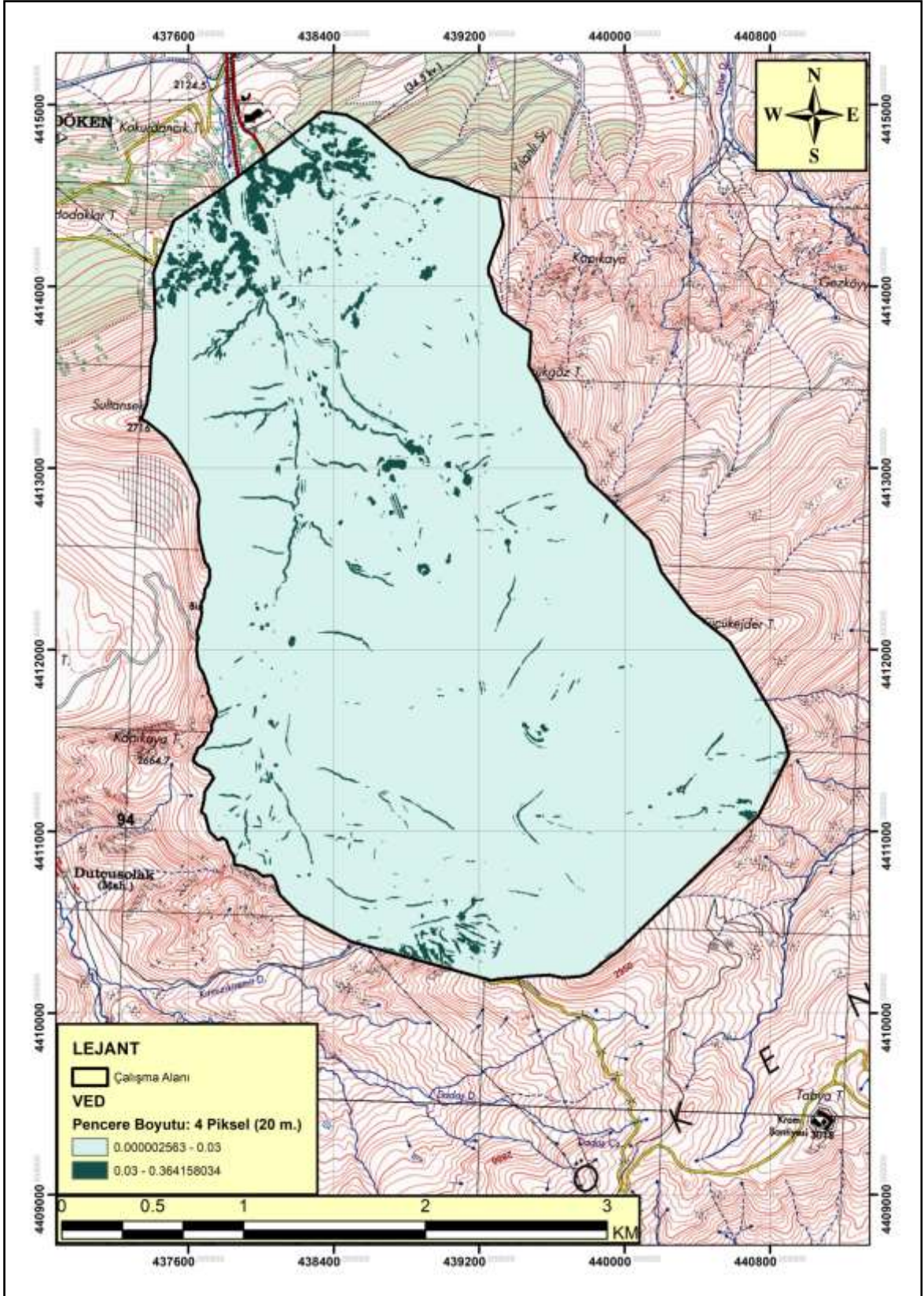




Çalışmada yüzey pürüzlülüğünün tespiti için Sappinton vd. (2007) tarafından geliştirilen algoritma kullanılmıştır. Algoritma yüzey pürüzlülüğü kısmında anlatıldığı gibi, eğim ve bakı parametrelerinin çeşitli trigonal türevlerini kullanarak yüzeydeki pürüzlülüğü tespit etmeye yönelik hazırlanmıştır. Algoritmanın bir yama (patch) olarak ArcGIS programı içerisine yerleştirilebilen bir kodu bulunmakta olup, bütün dünya tarafından erişilebilen ArcGIS iletişim platformu üzerinden edinilebilmektedir.

Kodun ArcGIS programı içerisine 'toolbox' içerisine çağrılmasından sonra tanımlanması için paket dosyası içerisinde gelen Python kodunun programa tanıtılması gereklidir. Yüzey pürüzlülüğünün tespit edilebilmesi için CBS teknolojilerinden yararlanılmıştır. Script'in çalıştırılabilmesi için öncelikle hangi SYM verisi üzerinde işlem yapılacağını ve kaç adet hücre ile işlem yapılacağını bilgisinin tanımlanması gereklidir. İşlem sonunda VED (Vektör Engebellelik Değeri) adında bir değişkenin tanımlı olduğu yeni bir harita oluşturulmaktadır. VED değeri, 0 olduğunda arazi düz ve engebesiz; 1 olduğunda ise tamamen engebeldir. Engelibeli bir arazi 0.03 civarında başlar ve 0.08'den sonra arazi çok zordur (Bühler vd., 2018).

Çalışmada güvenli tarafta kalmak için karşılaştırılacak pencere sayısı 5 m'lik bir çözünürlükte, VED eşik değerini 0.03 olarak seçilmiştir. Elde edilen VED haritası şekil 26'da görülmektedir.

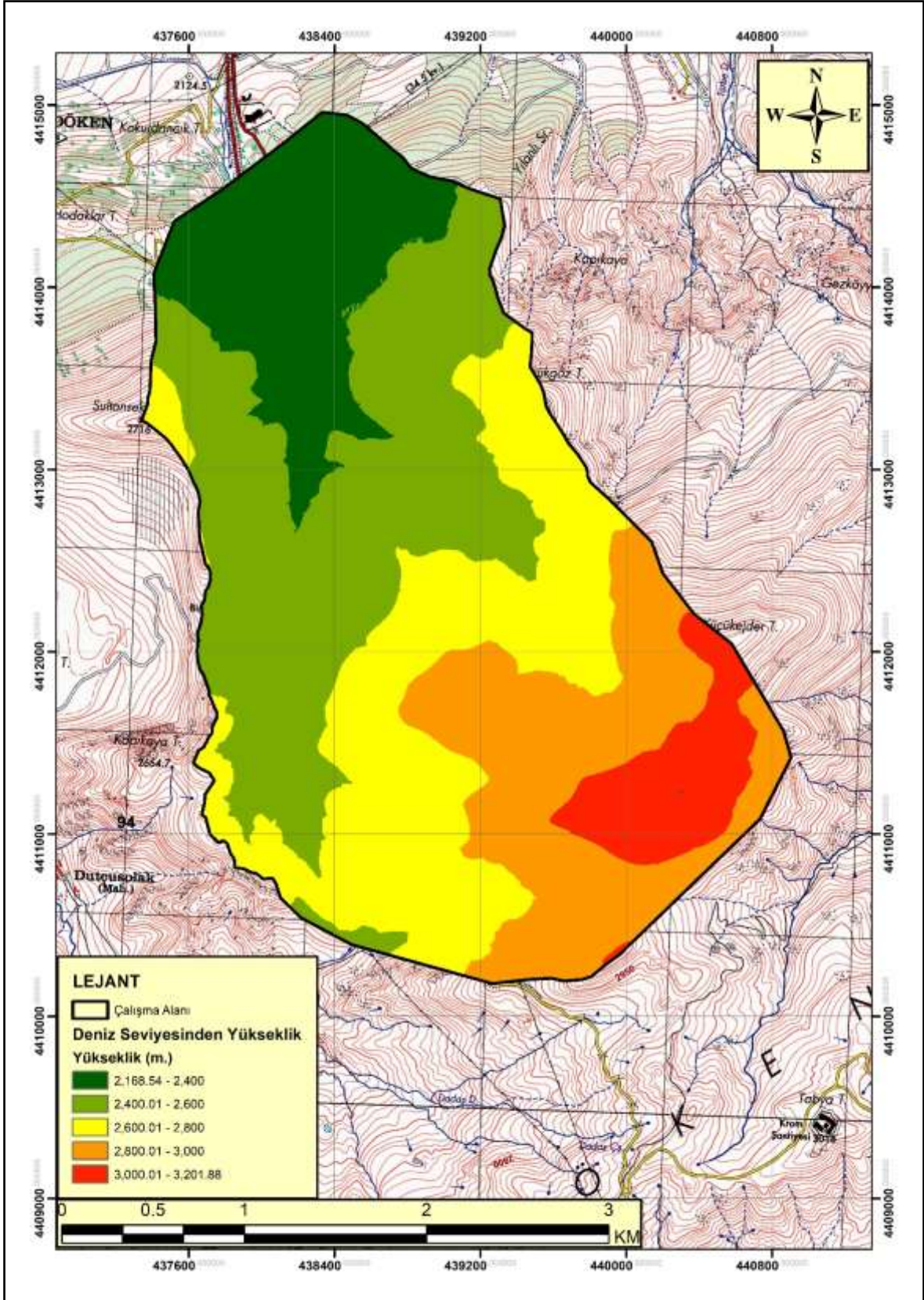


Şekil 26. Çalışma alanı yüzey engebелilik (VED) haritası

Uçar (2014) çalışma alanını içeren Çoruh havzası için yaptığı araştırmada, arazi etütleri esnasında, deniz seviyesinden yüksekliğin artmasının, kar miktarını artırması ve çığ riskini artırdığını belirtmiş ve mevcut çığların 1000 m'nin üzerinde gerçekleştiği tespit etmiştir.

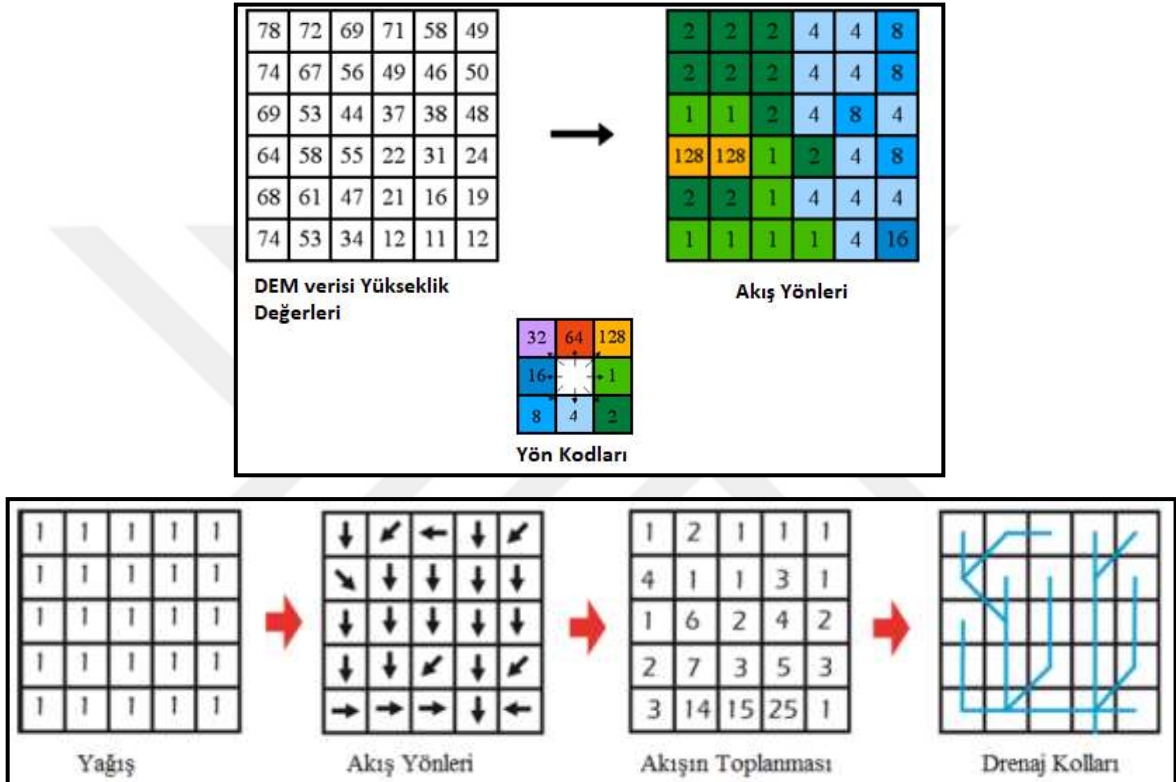
Bu çalışmada için çalışma alanının minimum rakım değeri 2168 m seviyesindedir. Bu sebeple tez konusu çalışma alanı tamamıyla çığ riski altındadır. Tez çalışması kapsamında SYM veri setindeki her bir hücre, deniz seviyesinden olan yüksekliği sebebiyle, yükseklik parametresi açısından potansiyel bir çığ salınım alanıdır. Bu sebeple çalışma alanında yükseklik açısından herhangi bir PRA ayrımı yapılamamıştır. Çalışma alanının yükseklik değerlerini gösterir haritası Şekil 27'de görülmektedir.





Şekil 27. Çalışma alanı yükseklik haritası

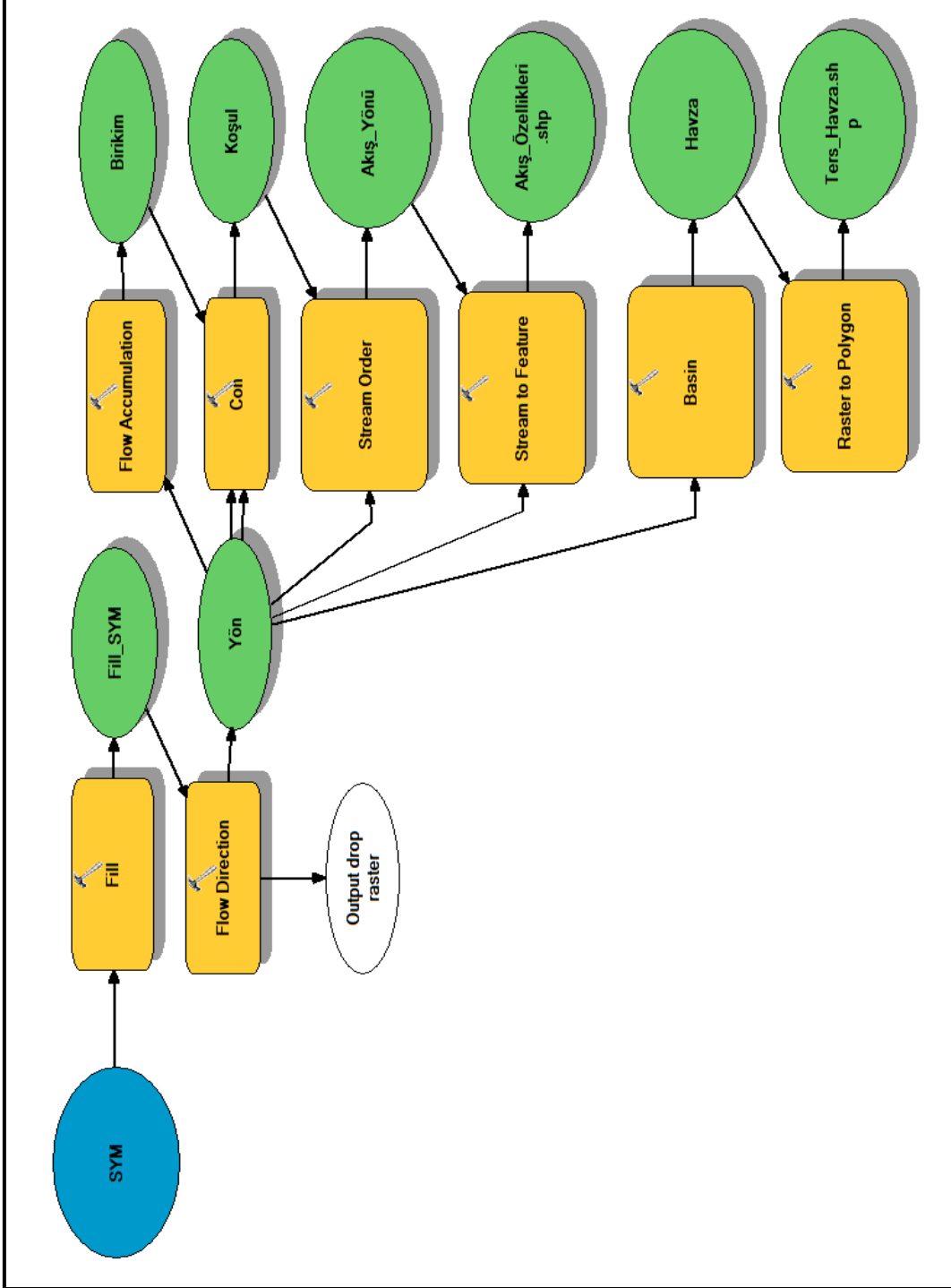
Suyun içine düştüğü ve çıkışa geçtiği sisteme drenaj sistemi denilir (Esri, ArcGIS Pro, 2018). SYM verileri kullanılarak suyun hangi tarafa akacağı tahmin edilebilir. Su akışının hangi tarafa doğru olacağı SYM verisindeki hücre değerlerine göre belirlenir. Herhangi bir hücrede bulunan suyun akış yönü olarak belirleyebileceği 8 yön vardır. Akış yönü olarak belirlenebilecek 8 hücre, akışın söz konusu olacak hücrenin komşularıdır.



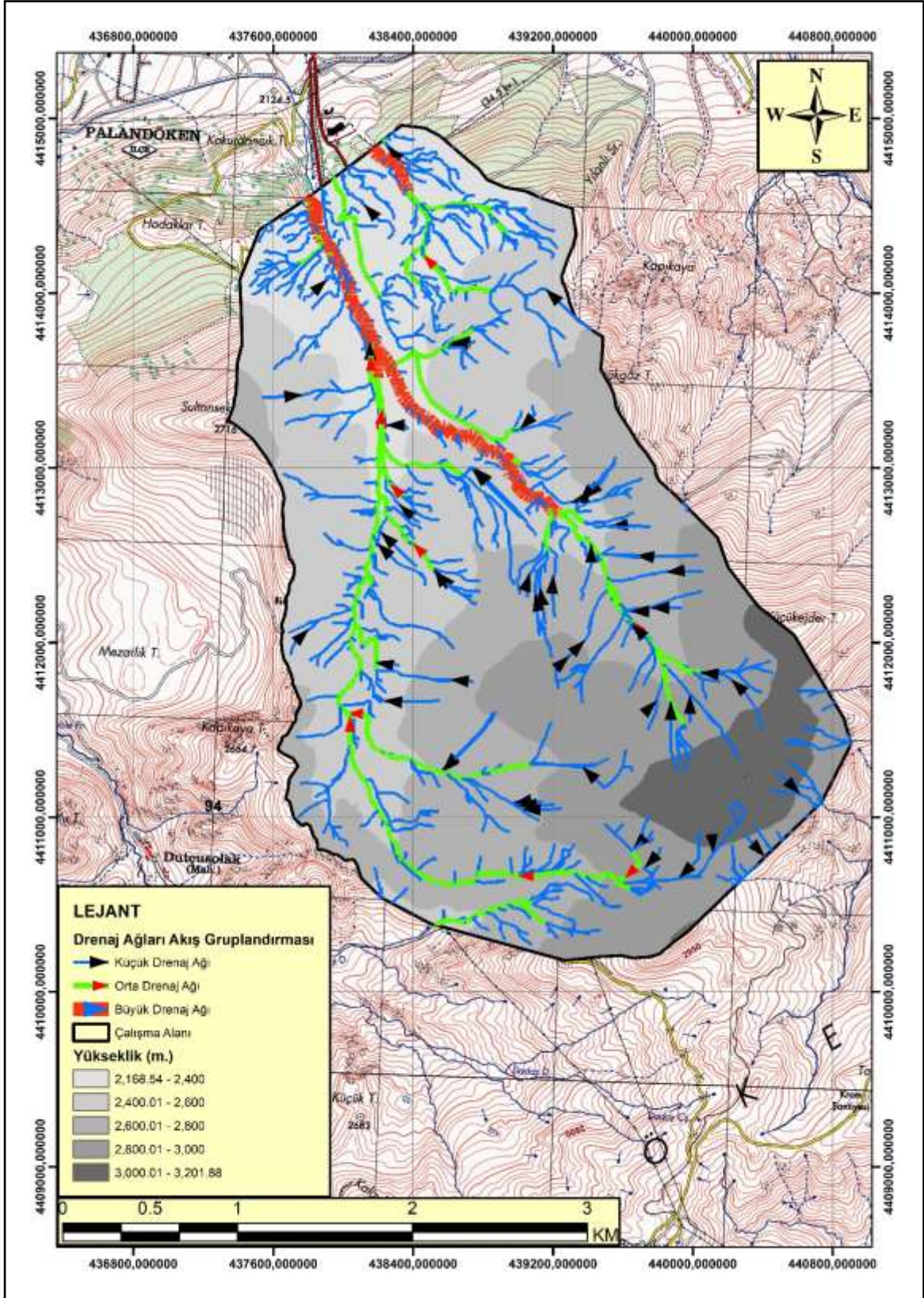
Şekil 28. Akış yönü (ESRI, 2018) ve havza toplanma bölgelerinin hesaplanması

Havza kavramı ise bir drenaj ağındaki suyu ve diğer maddeleri ortak bir çıkışa boşaltan alandır. (ESRI, 2018) Drenaj ve havza kavramları ile çığın oluşumu durumunda hangi tarafa doğru akış yönünde olacağı konusunda karar verilebilir.

SYM verileri üzerinden havzaların oluşturulması ve drenaj hatlarının çıkarılması için ArcGIS Model Builder yapısı üzerinde bir akış diyagramı kurulmuştur. Model builder yapısı şekil 29'da ve bu yapıdan elde edilen drenaj haritası şekil 30'da görülmektedir.



Şekil 29. Havza ve drenaj hatlarının çıkarılması için kurulan model builder



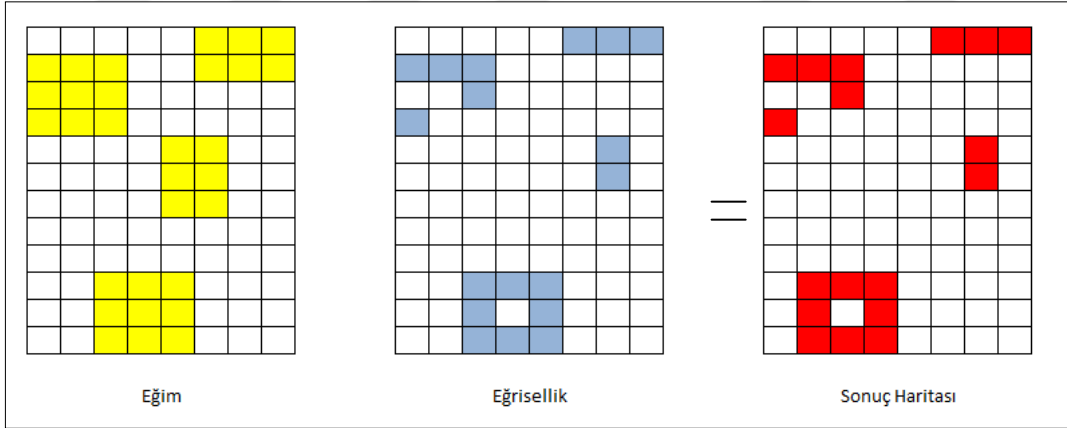
Şekil 30. Çalışma alanı sınırlarına göre elde edilen drenaj haritası

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Parametre Haritalarından Potansiyel Çığ Alanlarının Oluşturulması

Çalışmanın 2. Bölümünde ifade edilen önerilen yaklaşıma göre; ormanlık alanda bulunup-bulunmaması, eğim, eğrisellik, VED ve rakım özelliklerine göre PRA bölgeleri ArcGIS “Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator” fonksiyonları yardımı ile hazırlanan tüm raster veri setleri yeniden hesaplanmıştır. Yeniden hesaplama işleminden önce yine ArcGIS “Arctoolbox/3D Analyst Tools/Raster Reclass/Reclassify” komutu ile yeniden sınıflandırılır. İşlemden önce, iş akış diyagramında gösterilen değerleri sağlayan alanlara, 1; sağlamayanlara ise 0 değeri verilmiştir.

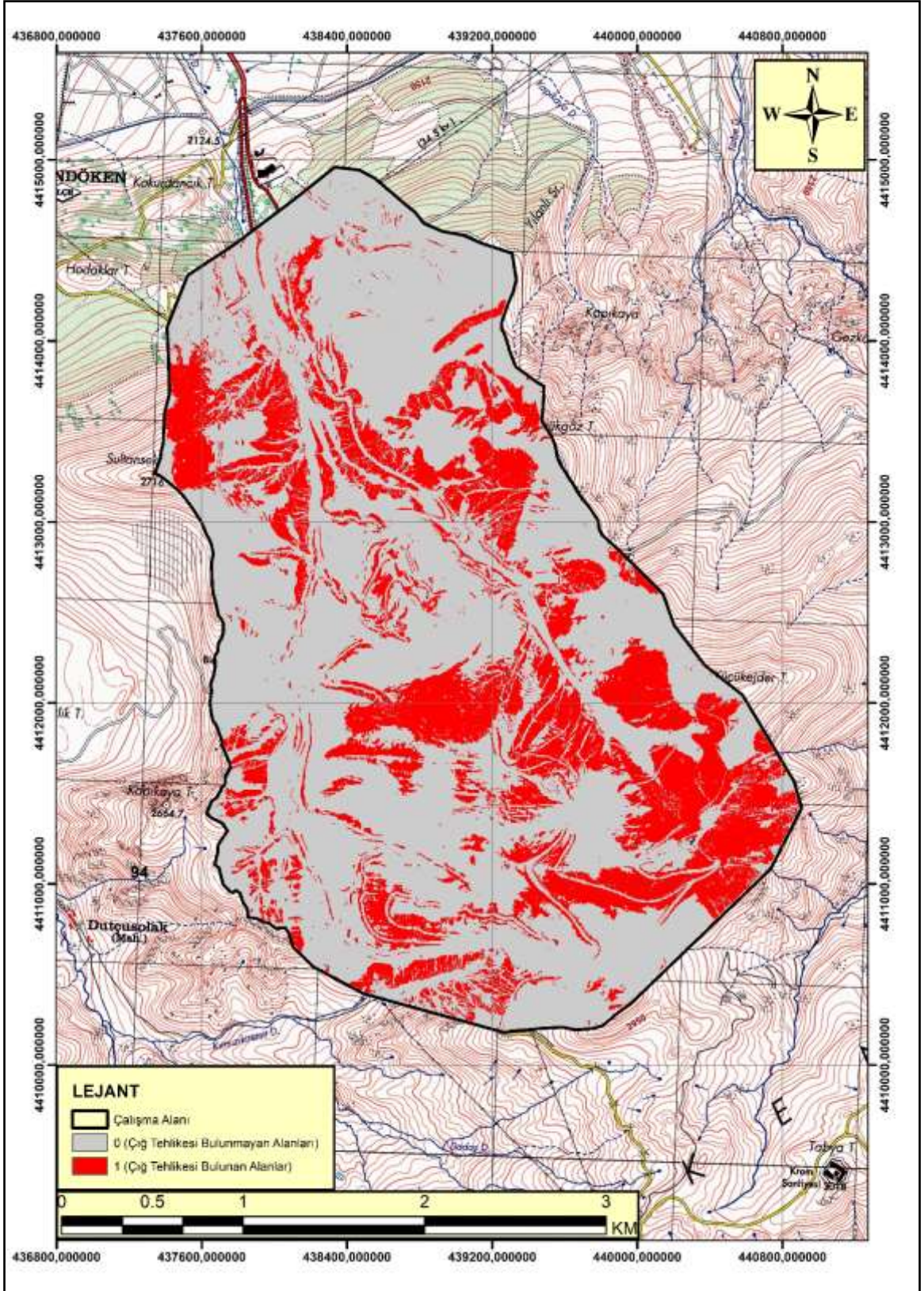
Raster Calculator yardımı ile 1 ve 0 değerlerinin çarpılması ile sonuç ürün, potansiyel çığ başlama alanları haritası ortaya çıkmaktadır. Raster Calculator uygulamasına yönelik basitleştirilmiş örnek bir işlem Şekil 31’de sunulmuştur.



Şekil 31. Raster hesaplama örnek şekli

Yapılan raster hesaplamasının ardından elde edilen PRA haritası Şekil 32’de gösterilmiştir. Fakat hesaplanan PRA haritasının manuel olarak tekrardan kontrol edilmesi gereklidir.





Şekil 32. Potansiyel çığ salınım alanlarını gösterir harita

### 3.2. Şekli, Büyüklüğü ve Ait Olduğu Havza Açısından Potansiyel Çığ Salınım Alanlarının Tekrar Değerlendirilmesi

Potansiyel çığ başlama alanlarının eğim, eğrisellik, arazi pürüzlülüğü, bakı ve yükseklik parametrelerine göre tez çalışmasında önerilen yaklaşıma göre değerlendirilip, sonuç harita çıktısı elde edilmesinden sonra haritanın tekrar kontrolü gereklidir. Tez çalışması kapsamında bulunan potansiyel çığ salınım alanlarını gösterir harita; büyüklük, bakı, havza ve drenaj gibi parametreler ve uzman görüşleri ile irdelenmiştir

Maggioni (2005), çalışma sahasındaki bazı potansiyel salınım alanlarını elimine etmiştir. Bunlar; 5000 m<sup>2</sup>'den küçük PRA'lar; çığ koruma önlemleri içermesi; orman arasında ve diğer çığların izine ait; vadi tabanında, ormanın altında; kayak merkezlerinden veya köylerden görünemez, özellikle olan PRA'ları elimine etmiştir. Bühler vd. (2018), 500 m<sup>2</sup>'den küçük çığ salınım alanlarını, potansiyel çığ başlama bölgelerinden hariç tutmuştur. Avrupa ve Amerika'da kullanılan ve Moner vd. (2013) tarafından hazırlanan çığ sınıflandırması ise Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Çığ sınıflandırması (Moner vd.,2013)

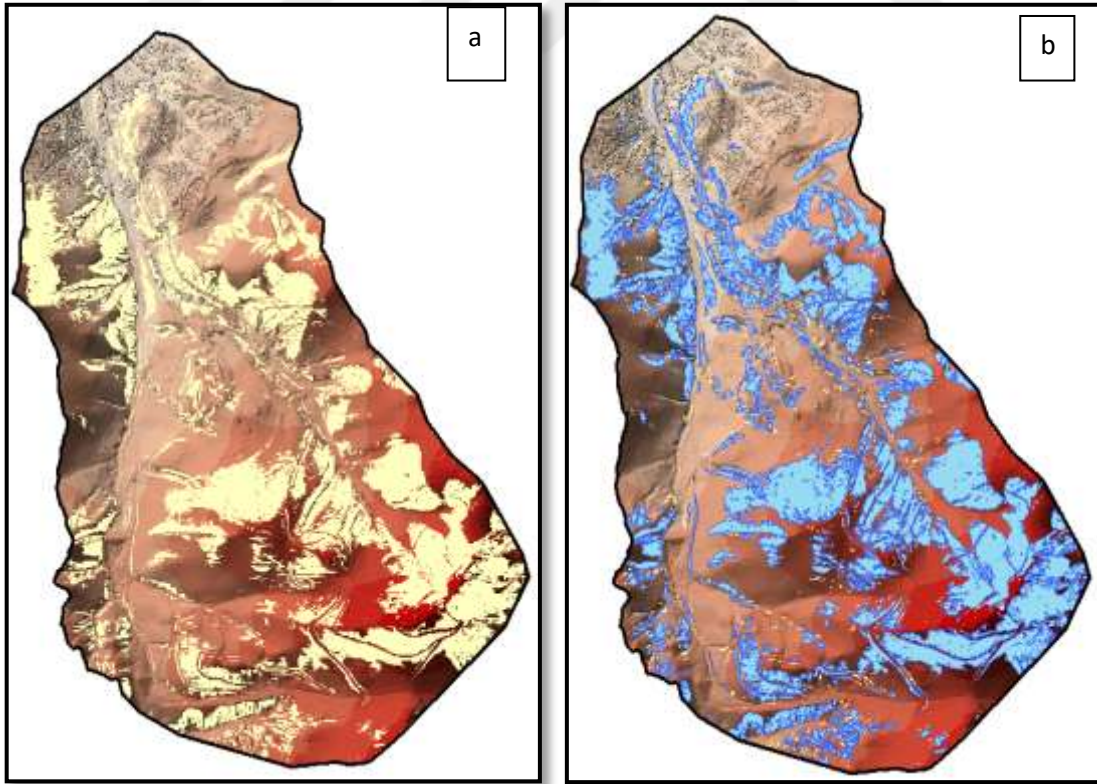
Çığ Büyüklüğü	Çığın Tahribat Potansiyeli (Avrupa Sınıflaması)	Tipik Uzunluk (m)	Akış/Durma Sınıflaması (Amerika Sınıflaması)	Tipik Çığ Hacmi (m <sup>3</sup> )
1 Yüzeysel	<b>D1.</b> İnsanlara bağlı olarak zararı yok. Kısmen gömülmeye ya da düşmeye neden olabilir.	10	Kar hareketi yamaç sonuna ulaşmadan durur.	100
2 Küçük	<b>D2.</b> Bir kişiyi gömebilir, yaralayabilir ya da öldürebilir.	100	Kar hareketi yamaç sonunda durur.	1000
3 Orta	<b>D3.</b> Bir otomobili gömebilir, kamyona zarar verebilir, ahşap bir evi ya da bazı ağaçları yıkabilir.	1000	Özellikle yamaç eğiminin 30°'nin altında olması durumunda patikasından taşıp düz alanlarda 50 m'den kısa mesafeler katedebilir.	10,000
4 Büyük	<b>D4.</b> Bir treni, kamyonu, bir kaç binayı ya da dikkate değer büyüklükte ormanı tahrip edebilir.	1000-2000	Özellikle yamaç eğiminin 30°'nin altında olması durumunda patikasından taşıp düz alanlarda 50 m'den büyük mesafeler katedebilir, vadi tabanına ulaşabilir.	100,000
5 Çok Büyük	<b>D5.</b> Yeryüzeyini kazıyabilir.	3000	Vadi tabanına ulaşır.	> 100,000

Bu bilgiler ışığında öncelikle büyüklük açısından çalışmada hazırlanan PRA'ların zarar verici boyuttaki çığlarının hacminin tespiti için Moner vd. (2013) tarafından önerilen eşik değerler esas alınmış olup, 1000 m<sup>3</sup> ortalama çığ büyüklüğünün üstündeki çığlar zarar

verici olarak kabul edilmiştir. Potansiyel çığ başlama bölgelerinden zarar verici çığ hacminin belirlenmesi için maksimum ortalama kar yüksekliği tespit edilmiştir. Ayrıca maksimum ortalama kar kalınlığının tespiti için çalışma alanını içeren Meteoroloji Erzurum 12. Bölge Müdürlüğü Palandöken 17777 numaralı OMGİ istasyonundan maksimum kar yüksekliği verileri alınarak incelenmiştir. OMGİ istasyonundan alınan verilerin bazı günlerde ölçüm yapamadığı ya da bazı teknik aksaklıklar sebebiyle hatalı ölçümler verdiği görüldü. Fakat alınan verilerden ve yerel halk ile yapılan görüşmelerden ortalama kar yüksekliğinin 2 m olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle zarar verici çığ hacminin tespiti aşağıdaki eşitlikle (13) sağlandı;

$$2 \text{ m} \times 500 \text{ m}^2 = 1000 \text{ m}^3 \text{ (Zarar Verici Çığ Hacmi)} \quad (13)$$

Yukarıdaki eşitliğe göre  $500 \text{ m}^2$  ve altında oluşabilecek çığların, Moner vd. (2013) tarafından hazırlanan tabloya göre can ve mal kaybına mahal vermeyeceği görülmüştür. Bu sebeple çalışmada  $500 \text{ m}^2$  ve altındaki potansiyel çığ salınım alanları elimine edilmiştir.

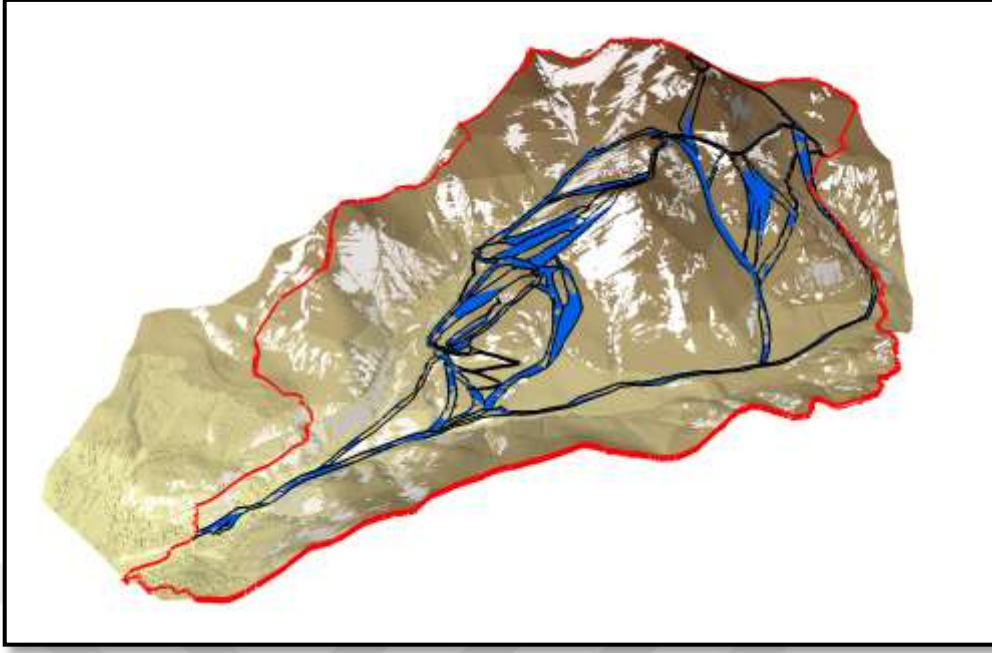


Şekil 33. Sarı ile mevcut PRA bölgeleri (a), mavi ile  $500 \text{ m}^2$  büyüklüğe göre elimine edilerek hazırlanan PRA bölgeleri haritası (b).

Maggioni (2005), köylerden ve kayak merkezlerinden görünmez PRA alanlarını elimine etmiştir. Bu tez kapsamında çalışmada nihai amaç GAZ-EX cihazlarının yerlerinin belirlenmesidir. Nihai hedef kapsamında üretilmek istenilen çözüm, Palandöken Kayak Merkezinde kayak yapılan alanlardaki çığ tehlikesini kaldırmak olduğu için kayak pistlerinin bulunduğu havza dışında kalan can ve mal güvenliği açısından tehlike içermeyen bölgeler elimine edilmiştir. Belirlenen PRA alanlarının tehlike içeren alanlarda bulunup bulunmadığının tespiti için tez çalışmasının önceki bölümlerinde hazırlanan drenaj haritasına göre havza tespiti yapılmıştır. Havza kavramı drenaj ağındaki suyu ve diğer maddeleri boşaltan alandır (URL-8). Çığ tehlikesi içeren bir alanda herhangi bir önlem alınması için yapılacak önerilerin, can veya mal kaybına yol açacak bölgelerde bulunması şarttır. Bu sebeple, Ejder 3200 firmasından alınan “.kml” uzantılı pist verileri ile 1/1000 ölçekli hâlihazır harita verileri kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında afet niteliğinde tehlike oluşturmayacak, farklı havzalarda olan potansiyel çığ başlama bölgeleri elimine edilmiştir.

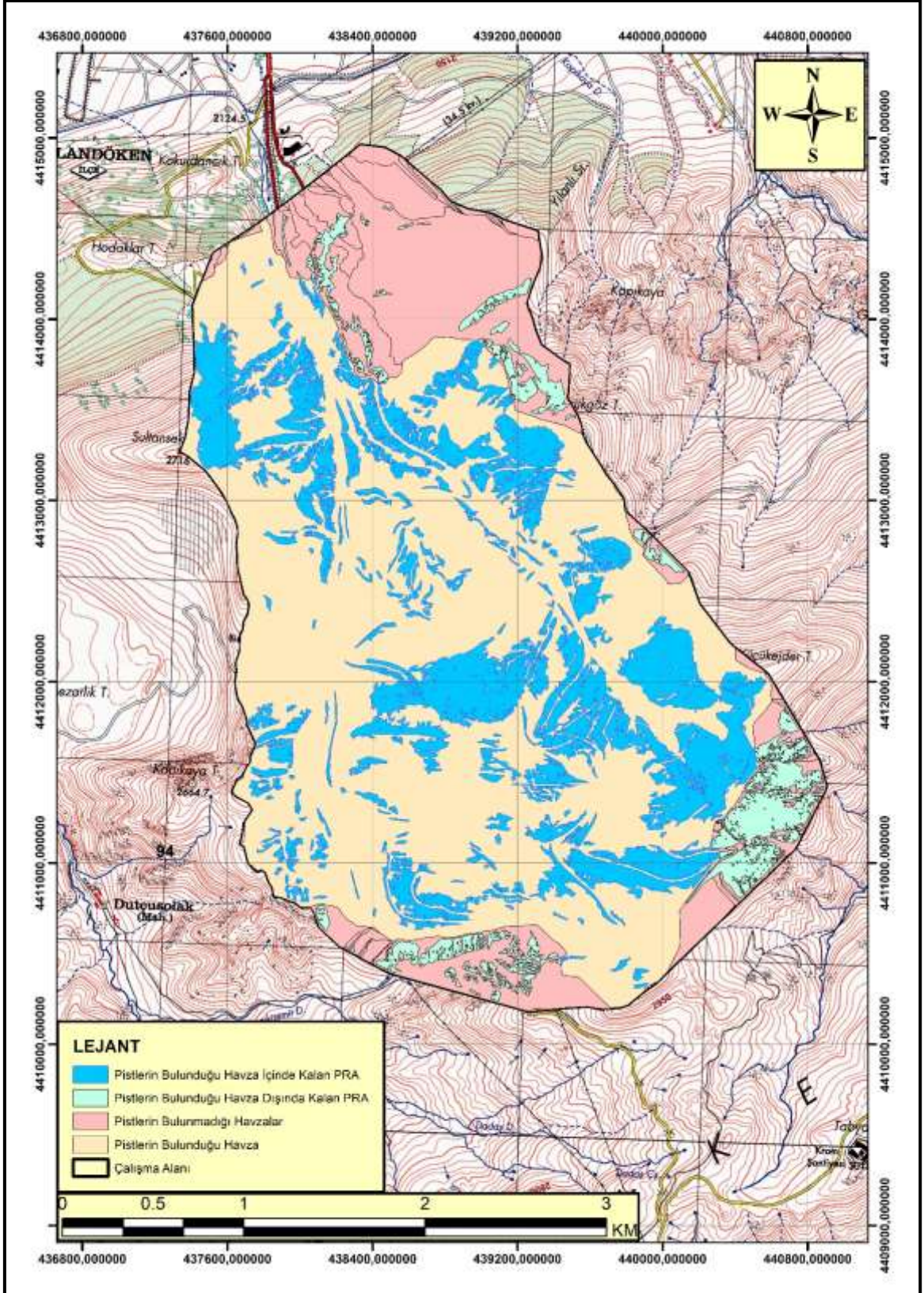
Havza tespiti yapılması için ArcGIS hidroloji yazılımlarının yanı sıra, akış yönünün pistler üzerindeki etkisini net olarak görmek ve yüzeyi tam olarak ele alabilmek için çalışmanın 3 boyutlu haritası ArcGIS ArcSCENE arayüzünde hazırlanmıştır. Hazırlanan 3 boyutlu modelde, SYM haritası altlık tutularak, üzerine 500 m<sup>2</sup> alandan büyük olan potansiyel çığ başlama bölgeleri ile pist ve havza verileri işlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde 225 adet havza bulunduğu görülmüştür. Meydana gelebilecek çığların akış yönü bazında pistlerin bulunduğu havza içerisinde olmayan ve tehlike arz etmeyen potansiyel çığ salınım alanları görülerek buldukları havzalar tespit edilmiştir. Havza tespiti yapıldıktan sonra ArcGIS içerisinde her tabakanın özelliklerinin (Layer Properties) içerisinde bulunan ‘Query Builder’ yardımı ile ilgili havza için, veritabanında üretilen ‘gridcode’ yardımı ile çığ tehlikesi içeren geçerli havzamıza ulaşılmış ve Şekil 34’de gösterilmiştir.

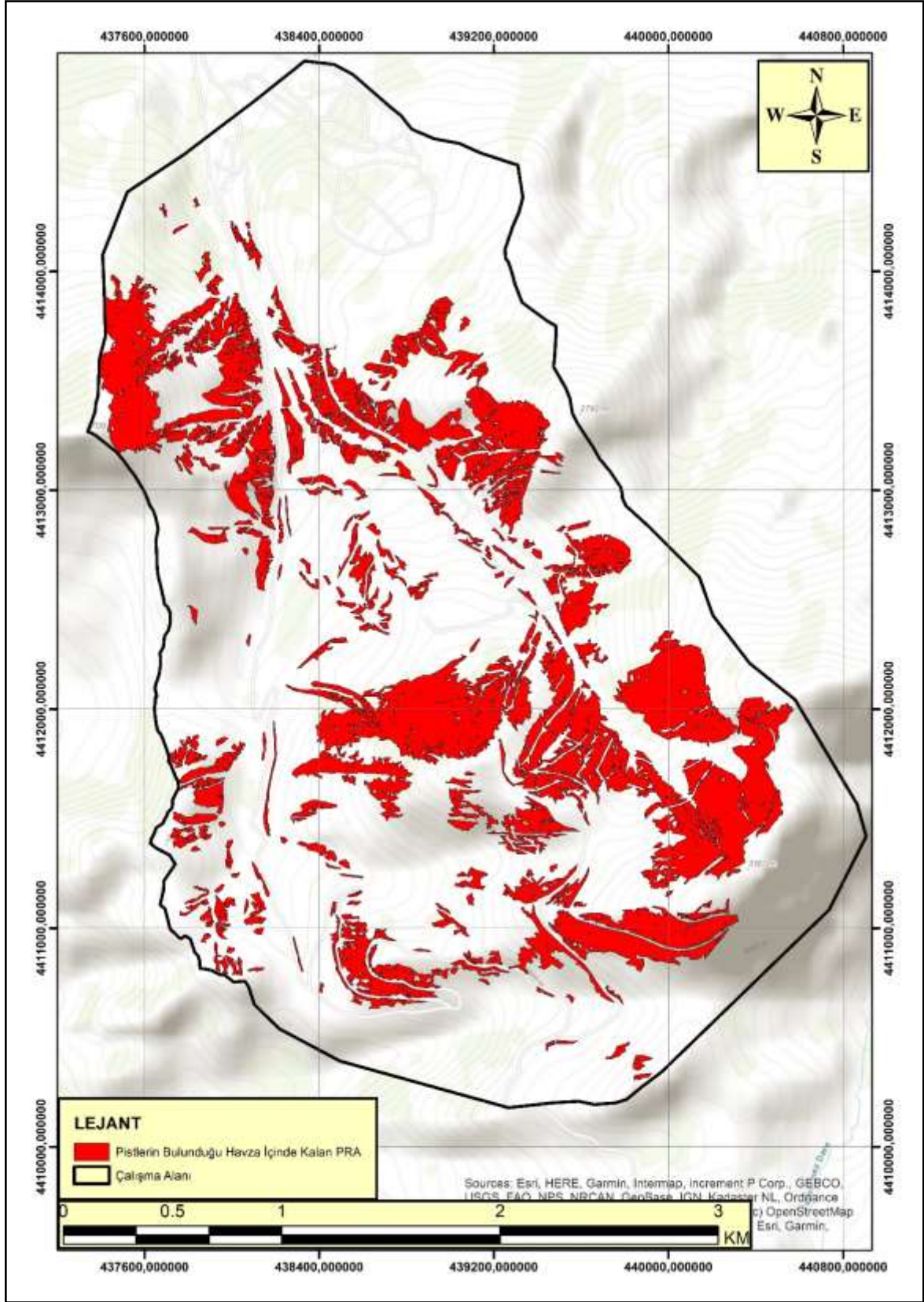


Şekil 34. Kırmızı, pistlerin içerdiği alanları gösterir havza sınırları; mavi, pistler; beyaz; potansiyel çığ başlama bölgelerini göstermektedir.

Çığ afet tehlikesi içeren pistlerin bulunduğu havza ile diğer havzalar Şekil 35'te gösterilmiştir. Çığ afet tehlikesi tespit edilen havzaya esas nihai potansiyel çığ salınım alanlarına ilişkin harita Şekil 36'da görülmektedir.



Şekil 35. Havza ayrımı yapılmış PRA haritası



Şekil 36. Potansiyel çığ salınım haritası

### 3.3. Potansiyel Çığ Alanlarının Kontrolü

Yapılan haritaların irdelemesi için mülga Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, şimdiki adı ile AFAD Genel Müdürlüğü çığ uzmanları tarafından 2011 yılı Universiade Olimpiyatları için yapılan çığ etüt raporu ile raporu elde edilmiştir. Ayrıca Ejder 3200 firmasının sorumluluğunda olan Palandöken Kayak Merkezinin çığ uzmanları ile -veritabanı kaydı olmasa da- bilinen geçmiş çığlar ve potansiyel çığ alanı olan yerler hakkında görüşmelerden faydalanılmıştır.

AFAD tarafından yapılan haritada belirlenen potansiyel çığ salınım alanlarının bir miktarının çalışma sahasının dışında olduğu görülmektedir. Aynı zamanda hazırlanan haritanın çalışma alanı bu tez kapsamında belirlenen çalışma alanından farklıdır. Afet niteliğinde potansiyel çığ tehlikesi içeren havza dışına taşan potansiyel çığ salınım alanları da bulunmaktadır.

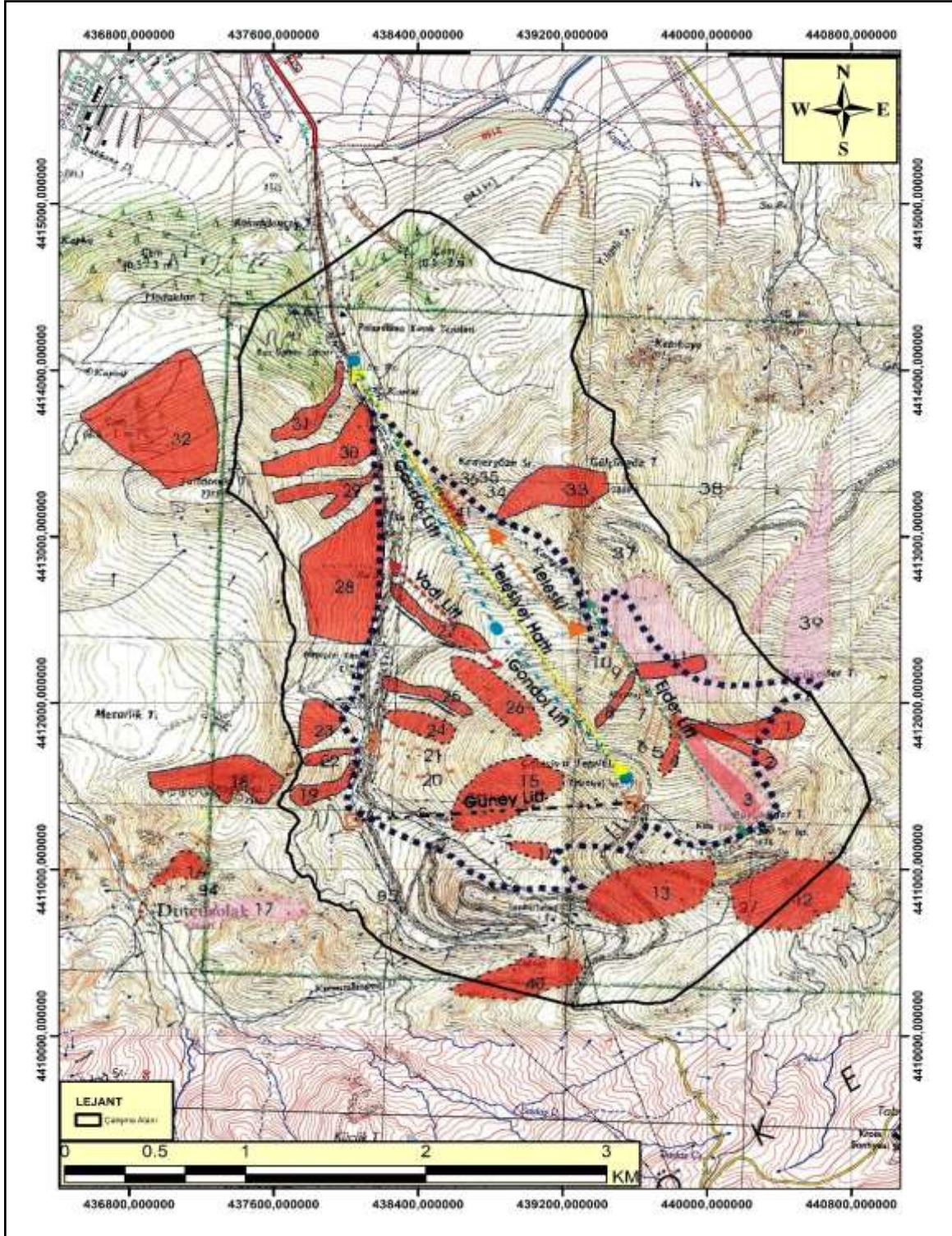
Bu tez kapsamında üretilen PRA haritası ile AFAD tarafından üretilen PRA harita arasında doğrulama amaçlı olarak yapılan karşılaştırma haritasında birçok bölgede AFAD tarafından hazırlanan harita ile uyumlu bir harita üretildiği fakat bazı noktalarda uyumsuz olduğu görülmüştür. Bu sebeple bunun iki haritanın uyumsuzluk nedenlerinin araştırmasına gidilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamalarında SYM verisinden üretilmiş ilk parametre olan eğim parametresi üzerinden kontroller gerçekleştirildi. Bu sebeple SYM verisinin eğim eşiği olan  $28^\circ$  ile  $60^\circ$ , bir miktar aşağı çekilip  $20^\circ$  eşiğine getirildi.

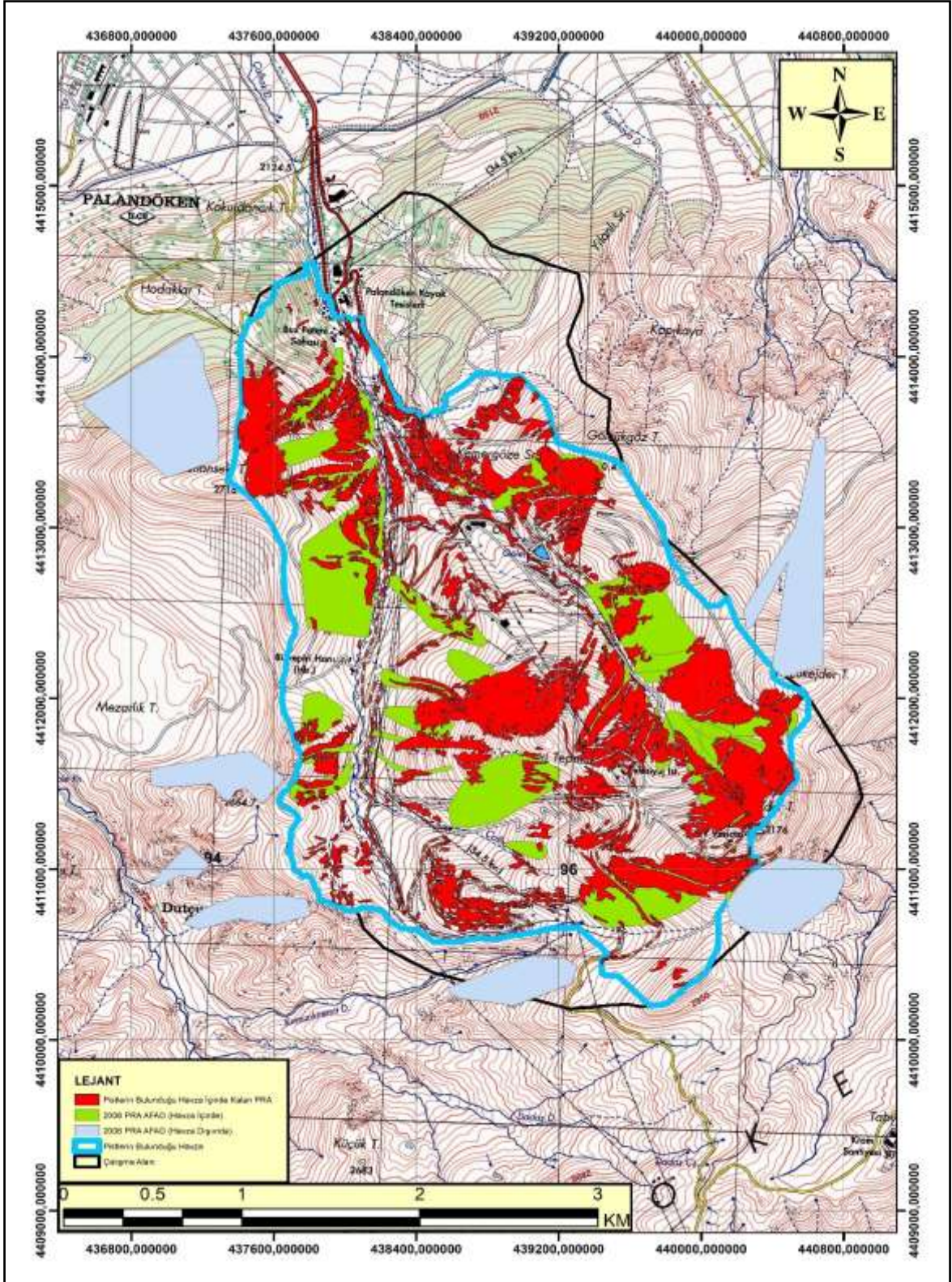
Yapılan araştırmada AFAD tarafından yapılan PRA haritasının eğim eşiğinin  $20^\circ$  civarında olduğu, çalışma alanı ile havza dışında kalan alanlarının olduğu tespit edildi. Uyumsuzluğun bu sebeple meydana geldiği düşünülmektedir. Her iki PRA haritasında da major bir uyumsuzluk söz konusu değildir. Bu sebeple, GAZ-EX makinelerinin yerlerinin tespiti için çalışmada elde edilen PRA haritaları ile devam edilmiştir.

AFAD tarafından yapılan PRA haritası Şekil 37'de, tez kapsamında üretilen PRA haritası ve AFAD PRA haritasının karşılaştırması Şekil 38'de ve bu tez kapsamında yapılan PRA haritasının eğim eşiğinin düşürülmesi ile yapılan son karşılaştırma haritası Şekil 39'da gösterilmiştir.

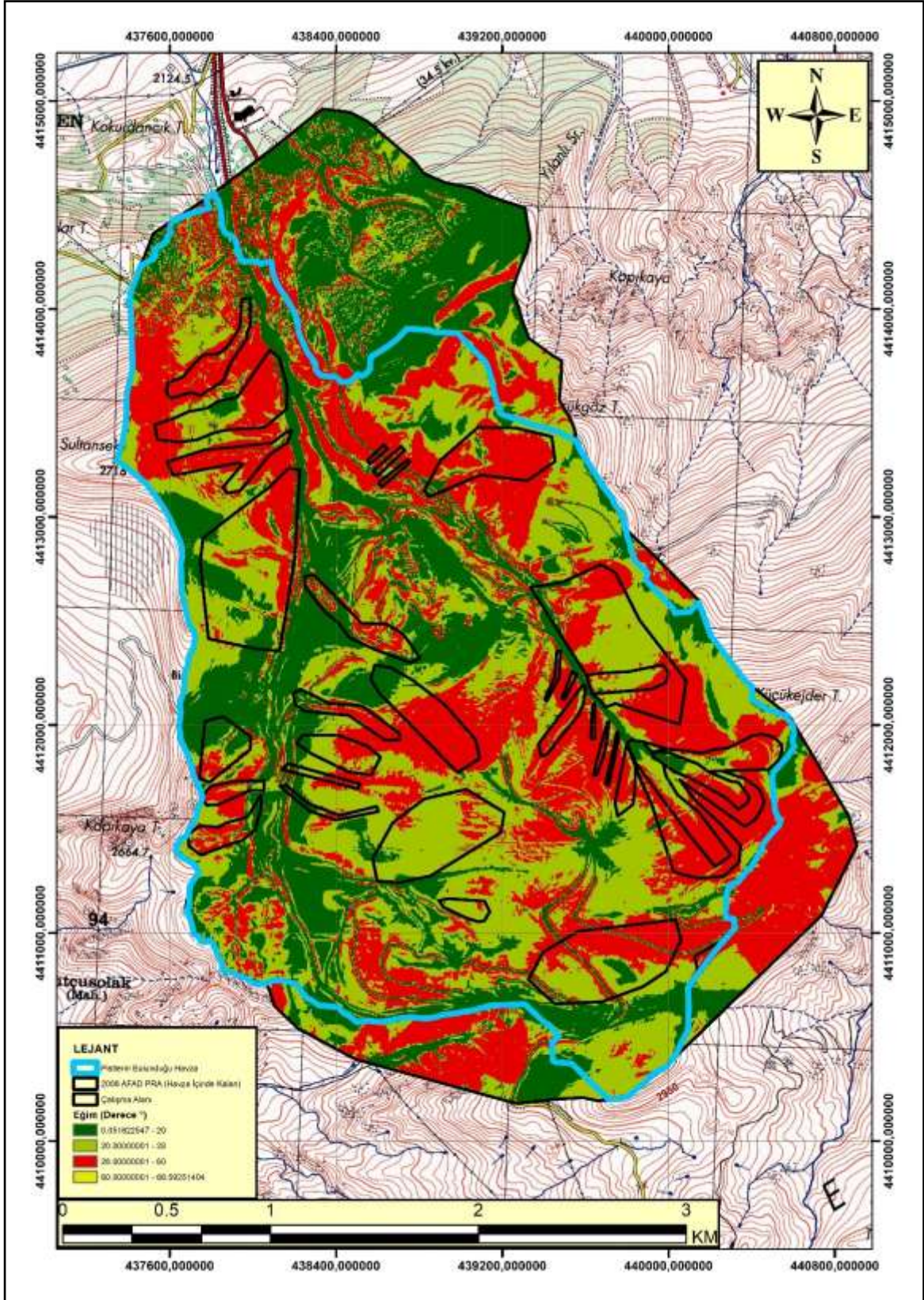




Şekil 37. 2006 yılında AFAD Genel Müdürlüğü tarafından yapılan potansiyel çığ başlama alanları (kırmızı renk ile taralı alanlar); çalışma alanı (siyah çizgi ile sınırlanmış bölge)



Şekil 38. Tez kapsamında üretilen potansiyel çığ salınım alanları ve AFAD potansiyel çığ salınım alanlarını gösterir harita



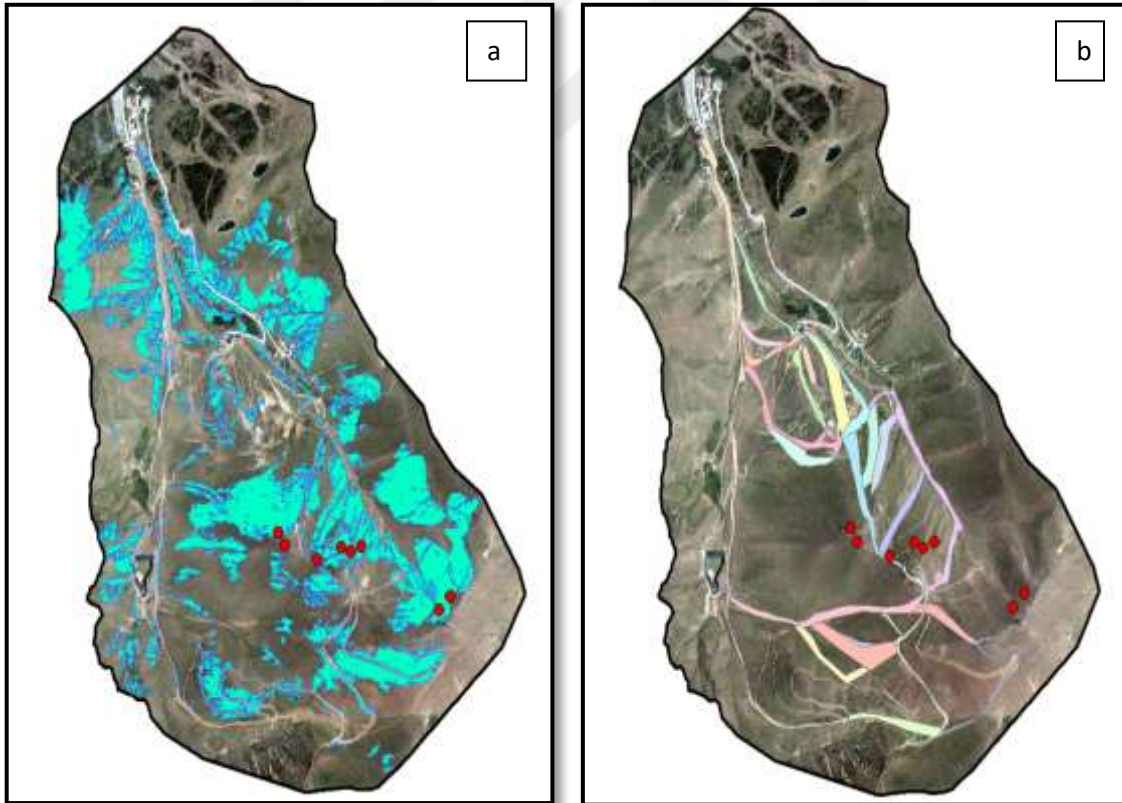
Şekil 39. Eğim eşiği 20°'ye getirilen SYM verisi ve AFAD PRA bölgelerini gösterir harita

### 3.4. Yapay Çığ Makinelerinin (GAZ-EX) Yer Seçimi

GAZ-EX makineleri için yer seçiminin yapılabilmesi için önce mevcut makinelerin yerleri hassas ortofoto harita üzerinden belirlenmiştir. Yeni GAZ-EX önerileri için ise uzman görüşlerinden faydalanılmıştır.

#### 3.4.1. Çalışma Bölgesinde Mevcut Olan GAZ-EX Makineleri

Bu tez kapsamına konu olan çalışma bölgesinde, 8 adet GAZ-EX patlatma ünitesi bulunmaktadır. Patlatma üniteleri genellikle güneydoğuya bakan yamaçları çığdan korumak için dizayn edilmişlerdir. Tüm sistem harekete geçirildiğinde, 25 adet pistten; 4 adetini (Serbest Pist 5D –Güney Kısmı-, Pist 01B, Pist 12 -Doğu Kısmı- ve Pist 02 B) koruyabilmektedir.



Şekil 40. Potansiyel çığ salınım alanlarının (mavi) ve GAZ-EX makinelerinin (kırmızı) gösterimi (a); kayak pistlerinin (çeşitli renklerde) ve GAZ-EX makinelerinin (kırmızı) (b)

### 3.4.2. Yeni GAZ-EX Makineleri Önerileri

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda elde edilen PRA haritasına göre, birçok GAZ-EX makinesine ihtiyaç duyan yamaç bulunmaktadır. Aynı zamanda tez kapsamında Ejder 3200 firmasının çığ uzmanları ile yapılan görüşmelerde, mevcut GAZ-EX'lerin yerlerinin öğrenilmesinin yanında, ek olarak konulması önerilen yerler için de GAZ-EX önerileri de alınmıştır. Önerilerle beraber üretilen potansiyel çığ salınım alanları haritası ile yeni GAZ-EX makineleri için yer seçimi yapılmıştır. Yer seçiminde önceki yıllarda meydana gelen çığ olayları da dikkate alınmıştır.

Mevcut halde 4 adet pisti koruyan 8 adet GAZ-EX makinesine ek olarak potansiyel çığ başlama bölgelerine, havza için yükselti durumuna ve 3B harita üzerinde çığın akış yönüne göre 9 adet yeni GAZ-EX makinesi önerisi ile 3 adet koruyucu duvar ve ağaçlandırma önerisi yapılmıştır. Öneri haritası şekil 41'de görülmektedir.

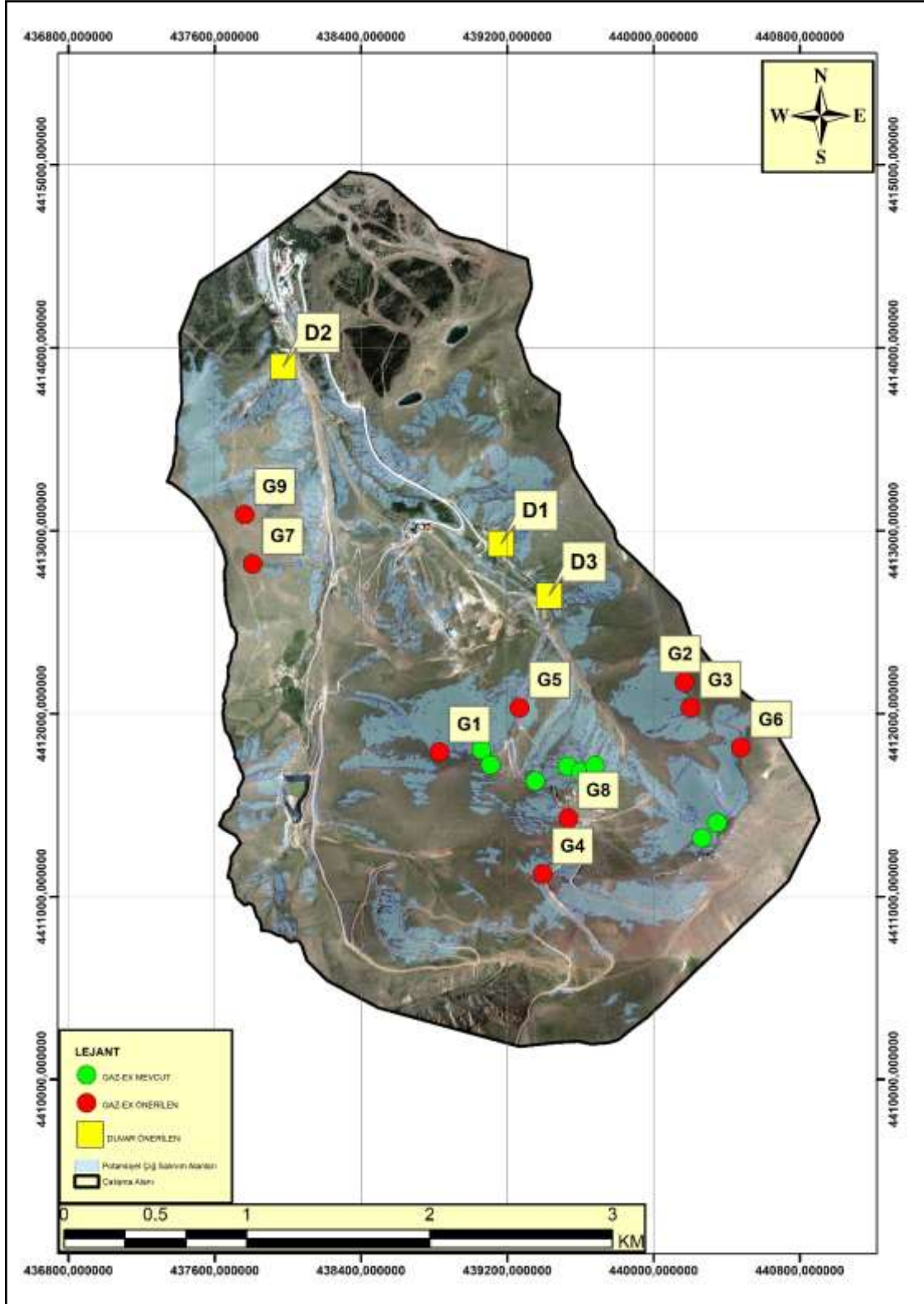
D1, D2 ve D3 numaralı saptırıcı duvar önerisinin üst kısımlarına GAZ-EX konulmak istenirse de yapı bulunması nedeniyle saptırıcı duvarın olması gereklidir. Ayrıca bölge PRA alanı sınırlarına göre yoğun olarak ağaçlandırılmalıdır.

G7 ve G9 numaralı öneriler, konuldukları yamaçlar üzerinden sürekli bir çığ akıntısı olduğu için konulmuş olup, kış aylarında bu yamaçların hemen altında bulunan pist için güvenlik şeridi çekilerek, kayakçıların yamaç ile vadi tabanının birleştiği noktalara yaklaşmaması için önlem alınmaktadır.

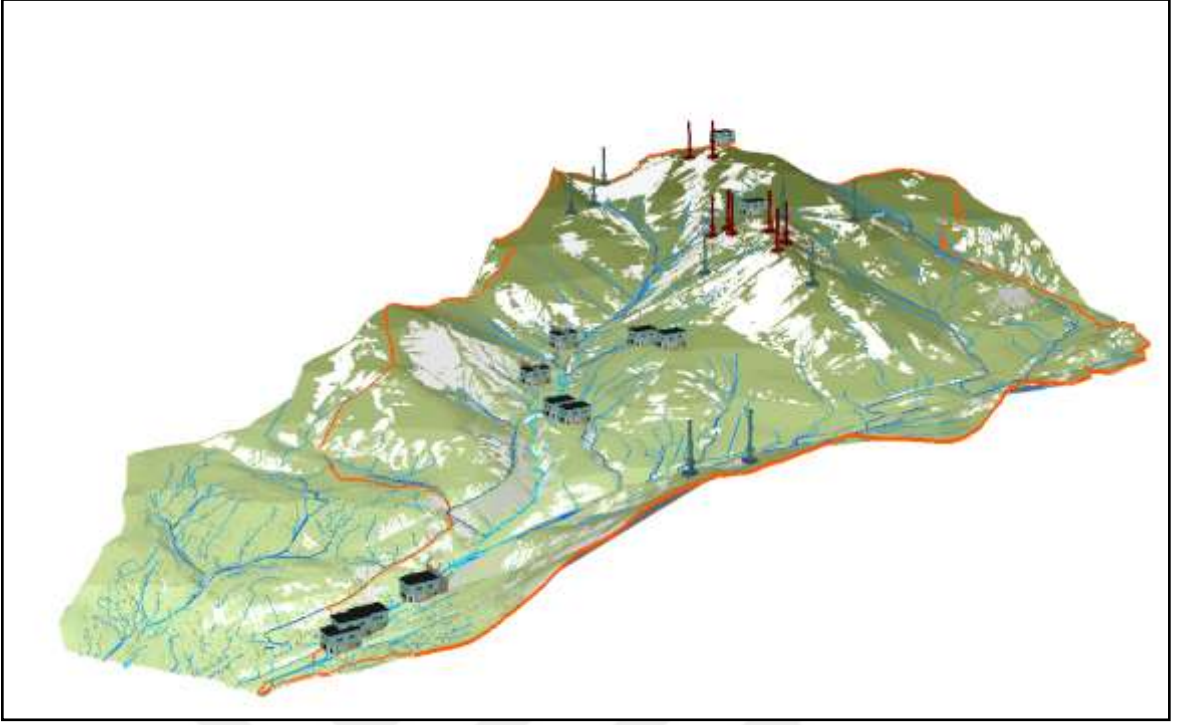
G1 numaralı GAZ-EX özellikle son yıllarda artan bir popüleritesi olan "Freestyle" serbest stil bol karda kayak yapan kayakçıların gözde pisti olup, kayakçı tetiklemesi ile tehdit altında olduğu için önerilmiştir.

G4 ve G8 numaralı GAZ-EX, geçmiş yıllarda can ve mal kaybı olmamasına rağmen, çığ olaylarının yaşanması ve hemen vadi tabanına doğru pistlerin bulunması hasebiyle önerilmiştir.

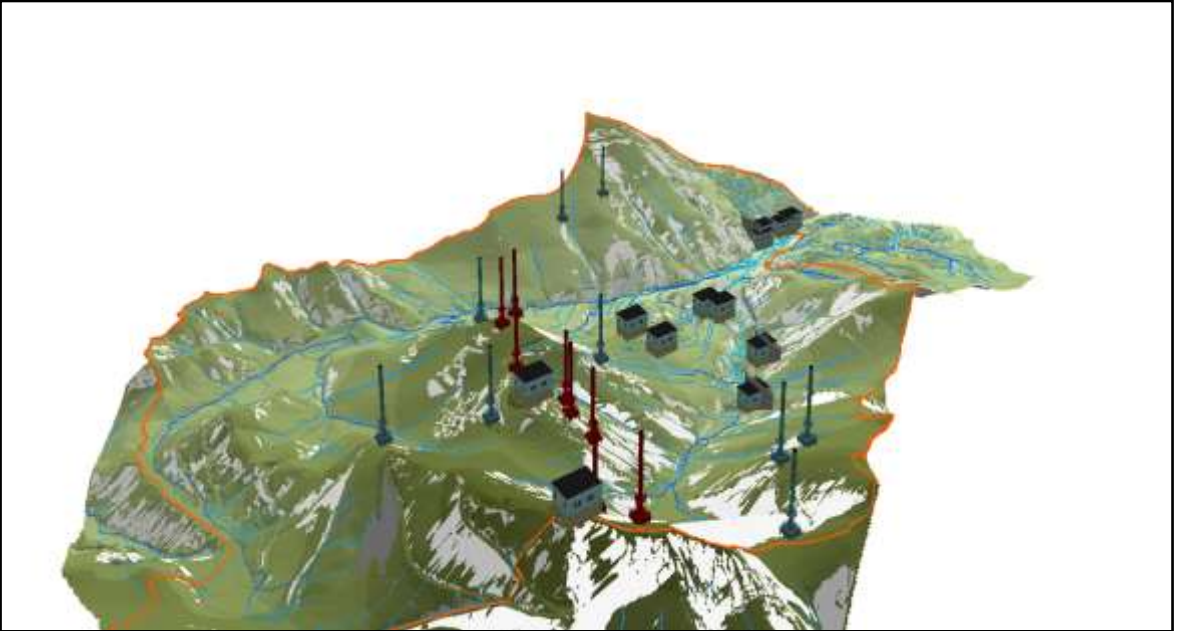
G2, G3, G6 ve G5 numaralı öneriler, çok tehlikeli (35° civarı) yamaç eğişinin bulunması, zaman zaman buralardan küçükte olsa çığ akıntısı olması ve kayakçıların bu GAZ-EX makinelerinin etki alanındaki pistleri tercih etmeleri sebebiyle önerilmiştir.



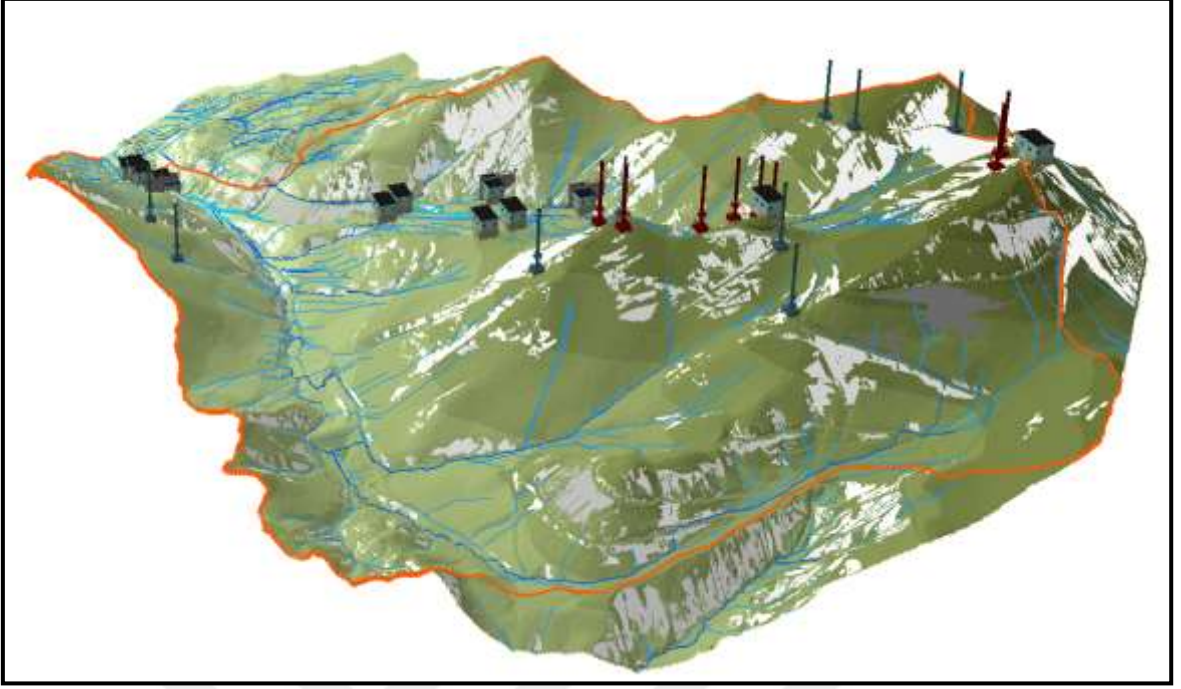
Şekil 41. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (mavi) alanlarının gösterir harita



Şekil 42. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA(beyaz) alanlarının 3B gösterimi



Şekil 43. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (beyaz) alanlarının 3B gösterimi



Şekil 44. Mevcut GAZ-EX makineleri (kırmızı); öneri GAZ-EX makineleri (yeşil); PRA (beyaz) alanlarının 3B gösterimi



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanoğlu var olduğundan beri doğal afetlere karşı kendini korumak istemektedir. ığ olayları da kendini korumak istediği bir doğal afet türüdür. İskân bölgeleri genellikle doğal afetlerin bulunmadığı yörelere kaymış olsa da turizm ve kış sporları gibi aktiviteler hasebiyle, doğal afetlere maruz kalınabilecek olan bölgelere de kaymıştır.

Bu alışma kapsamında potansiyel çığ alanlarının belirlenebilmesi için, eğim, eğrisellik, arazi pürüzlülüğü, deniz seviyesinden olan yükseklik doğrudan kullanılmıştır. Bakı, havza ve drenaj ağı bilgileri dolaylı olarak çalışmaya dâhil edilmiştir. Potansiyel ığ başlama alanlarının tespitinde birincil parametre olan eğim, tüm çalışma boyunca tetikleyici bir parametre olarak kabul edilmiş, eğrisellik ve arazi pürüzlülüğü ise ikincil bir parametre olarak çalışmalara dâhil edilmiştir. Bakı, havza ve drenaj ağı ise dolaylı olarak çalışmaya dâhil edilmiştir. Türkiye'nin kuzey yarım kürede olması sebebiyle, özellikle, kuzey bakılı yamaçlarında çığ olaylarının meydana geldiği bilinen bir gerçeklik olmasına rağmen hâlihazır durumda bir çığ veri tabanının bulunmaması sebebiyle bakı parametresi doğrudan verilere eklenememiştir.

CBS çalışmalarının son yıllarda hız kazanması ile birlikte, özellikle gidilemeyen yerlerde düşük maliyetle analizler yapılmasına imkn sağlamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında CBS teknolojilerinden faydalanılarak çalışma bölgesine ait SYM haritaları üzerinden analizler yapılmış ve potansiyel çığ başlama bölgeleri tespit edilmiştir. SYM haritalarının elde edilmesinde kuşkusuz ülkemizdeki son yıllardaki fotogrametrik ilerlemenin payı büyüktür.

Belirlenen potansiyel çığ alanları uzmanlar ile doğrulanmış ve arazide gözlemler yapılmıştır. Fakat ığ başlama bölgeleri doğal alanlar olduğu için, doğa ile uğraşılan her alanda olduğu gibi girdi parametrelerinin değerleri; iklimsel koşullar, topoğrafik ve jeomorfolojik etkiler sebebiyle sonuçlarda farklılıklar gösterebilir.

Çalışmada topoğrafik parametreler yardımı ile aktif çığ önlem yapılarından olan GAZ-EX yani yapay çığ makineleri için yer seçiminde potansiyel çığ alanlarının tespit edilmesi ile önerilerde bulunulmuştur. ığ afetinden korunmak sadece suni çığ oluşturma ile değil, bazen ağaçlandırma ve saptırma duvarlarının inşası şeklinde de olabilir.

Çalışma kapsamında CBS'nin analiz yeteneği ile GAZ-EX makineleri için yer seçiminin kolaylaşacağı, maliyet ve zaman açısından daha verimli olacağı düşünülmektedir.

Gelecek dönemlerde önerilen yapıların daha somut şartlarla değerlendirilmesi ve bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ışığında uygulayıcı tarafından çalışma bölgesinde karar verilecek olan aktif ve pasif önlem yapılarına ışık tutması durumunda, yapılan çalışma hedefine ulaşmış olacaktır.



## 5. KAYNAKLAR

- AFAD, 2015. Çığ Temel Kılavuzu, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, s. 129.
- Andres, A. J. ve Cia, J., C., Mapping of avalanche start zones susceptibility: Arazas basin, Ordesa and Monte Perdido National Park (Spanish Pyrenees), J. Maps, 8, 14–21.
- Armstrong, B. ve Williams, K. 1986. The avalanche book. Golden, Colorado, Fulcrum Inc.
- Aydın, A., Bühler, Y., Christen, M. ve Gürer, I., 2014, Avalanche Situation in Turkey and Back Calculation of Selected Events, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 2, 581–611.
- Aydın, A. ve Eker, R., 2014, Topoğrafik Parametreler Kullanılarak Potansiyel Çığ Başlama Bölgelerinin CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta, 426-435.
- Barbolini, M., Pagliardi, M., Ferro, F. ve Corradeghini, P., 2011, Avalanche Hazard Mapping Over Large Undocumented Areas, Nat Hazards, 56, 451–464.
- Biskupič, M. ve Barka, I., 2009, Statistical Avalanche Run-out Modelling Using GIS on Selected Slopes of Western Tatras National Park, Slovakia, International Snow Science Workshop Proceedings, Davos, 482-487.
- Bühler, Y., Christen, M., Kowalski, J. ve Bartelt, P., 2011, Sensitivity of Snow Avalanche Simulationsto Digital Elevation Model Quality and Resolution, Annals of Glaciology, 52, 72-80.
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J, M. Christen, M., Stoffel, A. ve Snehmani, 2013, Automated Identification of Potential Snow Avalanche Release Areas Based on Digital Elevation Models, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1321-1335.
- Bühler, Y., Rickenbach, D., V., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L. ve Christen., M., 2018, Automated Snow Avalanche Release Area Delineation – Validation of Existing Algorithmsand Proposition of A New Object-Based Approach For Large-Scale Hazard Indication Mapping, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 3235–3251.
- Cia, J., C., Andres, J., A. ve Magallon, A.,M., 2014, A Proposal For Avalanche Susceptibility Mapping in The Pyrenees Using GIS: The Formigal-Peyreget Area (Sheet 145-I; scale1:25.000), Journal of Maps, 10, No. 2, 203–210.
- D’Souza, V. P. C. & Morgan, R. P. C., 1976, A laboratory study of the effect of slope steepness and curvature on soil erosion. J. Agric. Engineering Res. 21, 21–31.
- EEA Raporu, 2010. Europe's Ecological Eackbone: Recognising the True Value of Our Mountains, European Environment Agency, No:6, Kopenhag, Danimarka, s. 244.

- Ersan, H., Aydın, A. ve Eker, R., 2017, Davraz Kayak Merkezi (Isparta-Türkiye) Çığ Tehlike Gösterim Haritasının Oluşturulması, Journal of Forestry, vol. 13, 1, 28-38.
- Gallant, J. C. & Wilson, J. P., 2000, Primary Topographic Attributes. in J. P. Wilson & J. C. Gallant (Eds.), Terrain Analysis: Principles and Applications, 3, 51–85.
- Ghini, A. ve Chung, C. J., 2005, Starter: A Statistical GIS-Based Model for the Prediction of Snow Avalanche Susceptibility Using Terrain Features – Application to Alta ValBadia, Italian Dolomites, Geomorphology, 66, 305–325.
- Herwijnen, A. V., Gaume, J., Bair, E., H., Reuter, B., Birkeland, K., W. ve Schweizer, J., 2016, Estimating The Effective Elastic Modulus And Specific Fracture Energy of Snowpack Layers From Field Experiments, Journal of Glaciology, 62, 997–1007.
- Lieberman, E., 2002, The Gazex Avalanche Release System, International Snow Science Workshop, 3.
- Luckman, B. H., 1978, Geomorphic work of snow avalanches in the Canadian Rocky Mountains. Arctic and Alpine Research, 10, 261.
- Maggioni, M. ve Gruber, U., 2003, The influence of Topographic Parameters on Avalanche Release Dimension and Frequency, Cold Regions Science and Technology, 37, 407- 419.
- Maggioni, M., 2005, Avalanche Release Areas and Their Influence on Uncertainty in Avalanche Hazard Mapping, Doktora Tezi, Zürih Üniversitesi, Almanya.
- Maggioni, M., Gruber, U. and Stoffel, A. 2002, Definition And Characterisation of Potential Avalanche Release Areas, ESRI International User Conference, San Diego, US, 1161–1166.
- Moner, I., Orgué, S., Gavaldà, J. ve Bacardit, M., 2013, How Big is Big: Results of the Avalanche Size Classification Survey, International Snow Science Workshop Grenoble Chamonix Mont-Blanc.
- Mosley, M. P., 1974, Experimental study of hill erosion. Trans. Amer. Soc. Agric. Engineers, Soil and Water Division, 17, 909-913.
- Pistocchi, A. ve Notarnicola, C., 2013, Data-Driven Mapping of Avalanche Release Areas: A Case Study in South Tyrol, Italy, Nat. Hazards, 65, 1313–1330.
- Salm, B., 1982, Lawinenkunde für den Praktiker. Verlag Schweizer Alpen-Club, Bern.
- Sappington, J., M., Longshore, K., M. ve Thompson, D. B., 2007, Quantifying Landscape Ruggedness for Animal Habitat Analysis: A Case Study Using Bighorn Sheep in the Mojave Desert, The Journal of Wildlife Management, 71, 1419-1426.
- Schweizer, J., 2008, Snow Avalanche Formation and Dynamics, Cold Regions Science and Technology, 54, 153–154.

- Suk, P. ve Klimanek, M., 2011, Creation of the Snow Avalanche Susceptibility Map of The Krkonoše Mountains Using GIS, *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, LIX, No. 5, 237–246.
- Teich, M., Techel, F., Caviezel, P. ve Bebi, P., 2013, Forecasting forest avalanches: A review of winter 2011/12, *International Snow Science Workshop Grenoble–Chamonix Mont Blanc*, 8.
- Uçar, İ., 2014, Modelleme Çalışmalarıyla Çığ Tehlike Haritalarının Oluşturulması ve Modelleme Girdilerinin Çığ Akımı Üzerindeki Etkileri: Çoruh Havzası Örneği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zevenbergen, L. W. & Thorne, C. R., 1987, Quantitative analysis of landsurface topography. *Earth Surface Process and Landforms*, 12, 47–56.
- URL-1, <https://www.afad.gov.tr/tr/23792/Aciklamali-Afet-YonetimiTerimleriSozlugu/kelime/>, Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü, 12 Mart 2019.
- URL-2, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-curvature-works.htm>, 20 Aralık 2018.
- URL-3, <http://earth.google.com>, Çalışma Alanı Bulduru Haritası, 20 Aralık 2018.
- URL-4, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>, 29.07.2019.
- URL-5, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-curvature-works.htm>, 29.07.2019.
- URL-6, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/performinganalysis/cell-size-and-resampling-in-analysis.htm>, 18 Mart 2019.
- URL-7, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/data-management/resample.htm>, 18 Mart 2019.
- URL-8, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/data-management/resample.htm>, 25 Mart 2019.
- URL-9, <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Cell%20size%20and%20resampling%20in%20analysis>, 25 Mart 2019.
- URL-10, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/understanding-drainage-systems.htm>, 25 Mart 2019.
- Veitinger, J. ve Sovilla, B., 2016, Linking Snow Depth to Avalanche Release Area Size: Measurements from the Vallée De La Sionne Field Site, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 1953–1965.
- Voellmy, A., 1955, Über Die Zerstörungskraft Von Lawinen, *Schweizerische Bauzeitung* 73. Jahrgang Heft Nr. 12, 159-165.

## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimi aynı ilde tamamladı. 2005 – 2010 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılında Erzurum Büyükşehir Belediyesi’nde Harita Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2015 yılında CBS Şube Müdürlüğü görevine atandı. Halen, bu görevini sürdürmektedir. Yazar iyi düzeyde İngilizce bilmektedir.

