



**ÇIĞ HAREKETİNİN SAYISAL MODEL İLE İNCELENMESİ; BOZDAĞ  
UYGULAMASI**

**Erhan DEMİR**

**DOKTORA TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2018**

Erhan DEMİR tarafından hazırlanan “ÇİĞ HAREKETİNİN SAYISAL MODEL İLE İNCELENMESİ; BOZDAĞ UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Başkan:** Doç. Dr. Zeliha SELEK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Prof. Dr. Lale BALAS

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Nehir VAROL

Acil Durum ve Afet Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 21/11/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Erhan DEMİR

21 / 11 / 2018



# ÇIĞ HAREKETİNİN SAYISAL MODEL İLE İNCELENMESİ; BOZDAĞ UYGULAMASI

(Doktora Tezi)

Erhan DEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2018

## ÖZET

Kar çığları, Türkiye’de özellikle Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri gibi dağlık bölgelerde yaşayan insanları ve yaşam alanlarını tehdit eden doğa kaynaklı bir afettir. Türkiye’de çığdan korunma amaçlı ulusal çalışmalar, 1992 ve 1993 kış mevsimlerinde meydana gelen çığlarda 450’yi aşkın can kaybı ile sonuçlanan afetleri takiben başlatılmıştır. Ancak, çığ felaketiyle mücadele eden Avrupa ülkelerindeki benzer çalışmaların başlangıcı yaklaşık 150 yıl öncesine dayanmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışması ile, ulusal çığ önleme çalışmalarına katkıda bulunulması, özellikle son yıllardaki bilgisayar teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak yaygın kullanım imkânı bulan sayısal model uygulamaları ile elde edilen sonuçların gerçekleşmiş çığa ait veriler ile birlikte değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda, 2013 yılı kış mevsiminde yaşanmış çığa ait verilerin bulunduğu İzmir ili Bozdağ kayak merkezini içine alan saha pilot çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yapılan arazi etütleri ve coğrafi bilgi sistemi programı yardımı ile seçilen alan içinde bulunan potansiyel çığ güzergâhları ve başlama bölgeleri tespit edilmiştir. Söz konusu çığ güzergâhları içerisinden gerçekleşmiş çığ verileri bulunan Kocadere, çalışma çığ güzergâhı olarak belirlenmiştir. Kar örtüsü ile ilgili olarak arazide yapılan ölçümlerle, Devlet Su İşleri tarafından yapılan kar rasatları ve proje kapsamında kopma bölgesinde kurulan Otomatik Çığ-Meteoroloji Gözlem İstasyonundan elde edilen veriler kullanılarak olası kopma derinlikleri ve kar yoğunlukları tespit edilmiştir. Seçilen çığ güzergâhında iki farklı çığ dinamik modeli kullanılarak farklı senaryolar çalışılmıştır. Kocadere çığ güzergâhında gerçekleşmiş çığ verileri ile program tarafından üretilen çığ durma mesafesi, kar basınçları ve kar yükseklik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, model sonuçlarının gerçekleşmiş çığ verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91106  
Anahtar Kelimeler : Çığ modelleri, İzmir-Bozdağ, RAMMS, Kütle Merkezi Modeli  
Sayfa Adedi : 212  
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

INVESTIGATION OF SNOW AVALANCHE MOTION BY NUMERICAL  
MODELLING: BOZDAĞ CASE STUDY

(Ph.D. Thesis)

Erhan DEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2018

ABSTRACT

Snow avalanche is a natural disaster that threatens residents and habitat especially located in the mountainous regions of Turkey such as Eastern and South-eastern Anatolia and Eastern Black Sea. National prevention studies in Turkey against avalanche phenomena were initiated following the disasters that resulted in more than 450 fatalities in avalanches of 1992 and 1993 winter seasons. However, the onset of similar studies in the European countries, which has been fighting against avalanche disaster, go back about 150 years. Therefore, the goals of the thesis are to contribute to the national avalanche prevention studies, and perform a comparative study in order to investigate consistencies between real data collected from site and the numerical model predictions which are widely applied to such case studies in recent years with the advances in computer technologies and geographical information system. For this purpose, the region comprising Bozdağ ski center near to İzmir city was chosen as a case study area where the avalanche data existed from the avalanche disaster occurred in the 2013 winter season. With the help of site surveys and geographical information system, potential avalanche paths and release areas were determined. Among various avalanche paths, Kocadere, where real avalanche data existed, was chosen as the study path for comparison of simulation results. Potential release depths and snow densities were determined by using measurements of snow cover at the site, the data collected by the State Hydraulic Works and the recorded data of automatic avalanche-meteorological observation station that was set up in the release zone. Various scenarios were studied on the selected avalanche path using two separate avalanche dynamic models. From the comparisons of site data with the model predictions, it was concluded that the run-out distance, impact pressures and snow heights predicted by the model were compatible with the real avalanche data of the Kocadere avalanche path.

Science Code : 91106  
Key Words : Avalanche models, İzmir-Bozdağ, RAMMS, Center mass model  
Page Number : 212  
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve sürekli destekleyen, çok değerli tecrübelerinden faydalandığım danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Sayın Önder KOÇYİĞİT'e ve yine değerli katkılarıyla beni yönlendiren Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Lale BALAS'a ve Sayın Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA'ya teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmasında kullanılan verilerin bir kısmı, 114M311 Numaralı “Çığ verilerinin toplanması, çığın dinamik ve istatistiksel modellemesi ve durma mesafesi uygulaması; Bozdağ örneği” başlıklı TÜBİTAK 1001 projesinden sağlanmış olup, TÜBİTAK'a verdiği destek için teşekkür ederim. Ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli eşim Dt. Halime DEMİR'e ve sevgili kızlarım Esra Zeynep ile Bilge Nur'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                              | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                   | iv    |
| ABSTRACT.....                                                | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                | vi    |
| İÇİNDEKİLER .....                                            | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                    | xi    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                      | xvii  |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                     | xix   |
| HARİTALARIN LİSTESİ.....                                     | xxiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                 | xxiv  |
| 1. GİRİŞ.....                                                | 1     |
| 2. ÇIĞ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMSAL BİLGİLER .....             | 7     |
| 2.1. Giriş .....                                             | 7     |
| 2.2. Çığların Sınıflandırılması.....                         | 7     |
| 2.2.1. Kopma bölgesinin tipine göre sınıflandırma .....      | 10    |
| 2.2.2. Hareketin türüne göre sınıflandırma .....             | 11    |
| 2.3. Çığ Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....                  | 14    |
| 2.3.1. Arazi faktörü .....                                   | 16    |
| 2.3.2. Yağış (yeni kar yağışı) .....                         | 17    |
| 2.3.3. Rüzgâr.....                                           | 19    |
| 2.3.4. Sıcaklık .....                                        | 20    |
| 2.3.5. Kar stratigrafisi .....                               | 22    |
| 2.4. Çığ ile İlgili Bilinmesi Gereken Önemli Kavramlar ..... | 25    |
| 2.4.1. Çığ patikası.....                                     | 25    |

|                                                                  | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.4.2. Yinelenme periyodu.....                                   | 30           |
| 2.4.3. Sürtünme parametreleri.....                               | 31           |
| 2.4.4. Kar yoğunluğu.....                                        | 34           |
| 2.5. Çıgın Mekaniği .....                                        | 36           |
| 2.5.1. Voellmy tarafından gerçekleştirilen öncü çalışmalar ..... | 37           |
| 2.5.2. Granüler çıgların mekanik teorisi (S-H Model) .....       | 39           |
| <b>3. ÇIĞ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR .....</b>                | <b>45</b>    |
| 3.1. Giriş .....                                                 | 45           |
| 3.2. Arazide Gerçekleştirilmiş Çalışmalar .....                  | 45           |
| 3.3. Çıg Model Çalışmaları.....                                  | 49           |
| 3.3.1. Voellmy-Salm modeli .....                                 | 51           |
| 3.3.2. AVAL-1D modeli .....                                      | 56           |
| 3.3.3. RAMMS modeli.....                                         | 58           |
| 3.3.4. SamosAT modeli.....                                       | 59           |
| 3.4. İstatistiksel Model Çalışmaları .....                       | 60           |
| 3.5. Türkiye’deki Model Uygulamaları .....                       | 63           |
| <b>4. RAMMS PROGRAMI.....</b>                                    | <b>65</b>    |
| 4.1. Programa Ait Genel Bilgiler .....                           | 65           |
| 4.2. Programda Kullanılan Sürtünme Modeli.....                   | 66           |
| 4.3. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler .....                | 67           |
| 4.3.1. Sürtünme parametreleri ( $\mu$ ve $\xi$ ).....            | 67           |
| 4.3.2. Global parametreler.....                                  | 68           |
| 4.3.3. Kohezyon.....                                             | 69           |
| 4.3.4. Eğrilik.....                                              | 70           |

|                                                                             | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.4. Yönetmelik Denklemler ve Sayısal Çözüm Tekniği .....                   | 71           |
| 4.5. Orman Örtü Bilgisi .....                                               | 74           |
| 4.6. Hesap Etki Alanı ve Çığ Kopma Bölgesi .....                            | 74           |
| 4.6.1. Hesap etki alanı .....                                               | 74           |
| 4.6.2. Çığ kopma bölgesi .....                                              | 76           |
| 4.7. Sayısal (Nümerik) Düzensizlikler .....                                 | 76           |
| 4.8. Program Çıktılarının Görselleştirilmesi ve Analizi .....               | 79           |
| 4.9. Grafiksel Kullanıcı Ara Yüzü .....                                     | 82           |
| <b>5. PİLOT ALANDA YAPILAN ÇALIŞMALAR .....</b>                             | <b>81</b>    |
| 5.1. Pilot Çalışma Alanı Seçimi .....                                       | 81           |
| 5.1.1. Pilot çalışma alanı; İzmir Bozdağ .....                              | 82           |
| 5.2. Pilot Alana Ait Sayısal Altlıkların Oluşturulması .....                | 92           |
| 5.3. Pilot Alandaki Muhtemel Çığ Kopma Bölgelerinin Belirlenmesi .....      | 94           |
| 5.3.1. Yamaç eğimi .....                                                    | 96           |
| 5.3.2. Bakı .....                                                           | 98           |
| 5.3.3. Eğrisellik .....                                                     | 99           |
| 5.3.4. Yükseklik .....                                                      | 100          |
| 5.3.5. Yamaç pürüzlülüğü .....                                              | 101          |
| 5.4. Seçilen Çığ Güzergâhı ve Kopma Bölgesi İçin Yapılan Çalışmalar .....   | 103          |
| 5.4.1. Kullanılan haritanın simülasyon sonuçlarına etkisi .....             | 104          |
| 5.4.2. RAMMS programı çıktıların değerlendirilmesi .....                    | 137          |
| 5.4.3. Kütle Merkezi Modeli çıktıların RAMMS çıktıları ile mukayesesi ..... | 142          |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                           | <b>151</b>   |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                      | <b>155</b>   |

|                                                                                                                                                    | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| EKLER .....                                                                                                                                        | 165          |
| EK-1. RAMMS programı tarafından kullanılan $\mu - \xi$ çizelgesi .....                                                                             | 166          |
| EK-2. DSİ Genel Müdürlüğü'ne ait E05K001 numaralı KGİ verileri .....                                                                               | 167          |
| EK-3. Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{max}$ , $V_{max}$ ve $P_{max}$ )<br>seçilen enkesitler boyunca değişimleri .....  | 168          |
| EK-4. Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{max}$ , $V_{max}$ ve $P_{max}$ )<br>seçilen boykesitler boyunca değişimleri ..... | 204          |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                                                     | 210          |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                                                                                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Kar sıcaklığının, kar kütlesinin stabilitesine etkisi .....                                                                                                                                                                                  | 21    |
| Çizelge 2.2. Leaf ve Martinelli (1977) tarafından kullanılan sürtünme parametreleri ..                                                                                                                                                                    | 32    |
| Çizelge 2.3. Çeşitli koşullardaki türbülanslı sürtünme ve Coulomb tipi kuru sürtünme katsayıları .....                                                                                                                                                    | 32    |
| Çizelge 2.4. Kar yoğunlukları ve sınıflandırması .....                                                                                                                                                                                                    | 34    |
| Çizelge 2.5. Kar kütlesinin yoğunlukları .....                                                                                                                                                                                                            | 35    |
| Çizelge 3.1. Çığ hızlarının büyüklükleri .....                                                                                                                                                                                                            | 47    |
| Çizelge 3.2. Voellmy-Salm modelinde kullanılan sürtünme parametreleri .....                                                                                                                                                                               | 51    |
| Çizelge 3.3. Alfa-Beta Akış Modelinin Ükelere/Bölgelere göre karşılaştırılması .....                                                                                                                                                                      | 59    |
| Çizelge 4.1. Hacimlerine göre çığ sınıfları .....                                                                                                                                                                                                         | 67    |
| Çizelge 4.2. Çığ türlerine göre kullanılması önerilen kohezyon değerleri.....                                                                                                                                                                             | 68    |
| Çizelge 5.1. Ölçülen ve hesaplanan kar yükseklikleri .....                                                                                                                                                                                                | 88    |
| Çizelge 5.2. Kopma bölgesine ait temel karakteristik bilgiler .....                                                                                                                                                                                       | 104   |
| Çizelge 5.3. Seçilen kopma bölgesi için çalışılan kopma derinlikleri ve bu derinliklere tekabül eden çığ hacimleri .....                                                                                                                                  | 105   |
| Çizelge 5.4. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler ..... | 107   |
| Çizelge 5.5. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 107   |
| Çizelge 5.6. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 108   |



| Çizelge                                                                                                                                                                                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 5.7. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 108   |
| Çizelge 5.8. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 109   |
| Çizelge 5.9. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 109   |
| Çizelge 5.10. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler..... | 109   |
| Çizelge 5.11. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler..... | 110   |
| Çizelge 5.12. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler..... | 110   |
| Çizelge 5.13. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler..... | 111   |
| Çizelge 5.14. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 111   |
| Çizelge 5.15. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....  | 112   |

| Çizelge                                                                                                                                                                                                                                                         | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 5.16. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 112   |
| Çizelge 5.17. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 113   |
| Çizelge 5.18. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 113   |
| Çizelge 5.19. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 114   |
| Çizelge 5.20. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 114   |
| Çizelge 5.21. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 114   |
| Çizelge 5.22. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 115   |
| Çizelge 5.23. 1/5000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde, $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler.....        | 115   |
| Çizelge 5.24. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücreli altlık kullanılarak $400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 121   |

| Çizelge                                                                                                                                                                                                                                                         | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 5.25. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 122   |
| Çizelge 5.26. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 122   |
| Çizelge 5.27. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 122   |
| Çizelge 5.28. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 123   |
| Çizelge 5.29. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 123   |
| Çizelge 5.30. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 123   |
| Çizelge 5.31. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 124   |
| Çizelge 5.32. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 124   |
| Çizelge 5.33. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 124   |

| Çizelge                                                                                                                                                                                                                                                         | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 5.34. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 125   |
| Çizelge 5.35. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 125   |
| Çizelge 5.36. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 125   |
| Çizelge 5.37. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 126   |
| Çizelge 5.38. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 126   |
| Çizelge 5.39. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 126   |
| Çizelge 5.40. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 127   |
| Çizelge 5.41. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler ..... | 127   |
| Çizelge 5.42. Çığ güzergâhı boyunca $h_{max}$ , $V_{max}$ ve $P_{max}$ değişimlerini inceleyebilmek amacıyla simülasyonlarda kullanılan harita altlıkları için belirlenen boykesit isimleri ve açıklamaları .....                                               | 134   |
| Çizelge 5.43. A <sub>5000</sub> - 1.1, B <sub>5000</sub> - 1.1, A <sub>25000</sub> - 1.1 ve B <sub>25000</sub> - 1.1 simülasyonları için seçilen boykesitteki $h_{max}$ , $V_{max}$ ve $P_{max}$ değerlerinin maksimumları.....                                 | 135   |

| <b>Çizelge</b>                                                                                                                                                                                           | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 5.44. $A_{5000} - 1.3$ , $B_{5000} - 1.3$ , $A_{25000} - 1.3$ ve $B_{25000} - 1.3$ simülasyonları için seçilen boykesitteki $h_{\max}$ , $V_{\max}$ ve $P_{\max}$ değerlerinin maksimumları..... | 136          |
| Çizelge 5.45. $A_{5000} - 1.5$ , $B_{5000} - 1.5$ , $A_{25000} - 1.5$ ve $B_{25000} - 1.5$ simülasyonları için seçilen boykesitteki $h_{\max}$ , $V_{\max}$ ve $P_{\max}$ değerlerinin maksimumları..... | 136          |
| Çizelge 5.46. Çarpma basınçları ve meydana getireceği hasarlar.....                                                                                                                                      | 139          |
| Çizelge 5.47. Koca Dere çığ güzergâhına ait boykesitin bölümleri ve bu bölümlere ait bilgiler .....                                                                                                      | 147          |
| Çizelge 5.48. Koca Dere çığ güzergâhı için kullanılan program girdileri ve çıktıları ....                                                                                                                | 148          |
| Çizelge 5.49. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS ve Kütle Merkezi Modeli hız çıktıları .....                                                                                                             | 150          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Çığ Tipleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 9     |
| Şekil 2.2. Üç günlük yağış periyodu boyunca biriken yeni kar toplamına tekabül eden çığ tehlike dereceleri .....                                                                                                                                                                                                             | 19    |
| Şekil 2.3. Bozdağ kuzey cephede yer alan kayak merkezi üst kotlarındaki bir nokta için elde edilen kar stratigrafisi .....                                                                                                                                                                                                   | 23    |
| Şekil 2.4. Çığ patikasına ait bir boy kesit örneği .....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 25    |
| Şekil 2.5. Başlangıç bölgesindeki taç, taban yüzeyi ve sıkışma duvarı .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 27    |
| Şekil 2.6. Granüler malzemeden müteşekkil sınırlı miktardaki bir kütlenin eğik bir yüzey üzerindeki düzlemsel akışı .....                                                                                                                                                                                                    | 39    |
| Şekil 3.1. Kuru sürtünme faktörü ( $\mu$ ) ve türbülans kaynaklı sürtünme faktörü ( $\xi$ ) değerlerine göre farklı çığ güzergah uzunlukları .....                                                                                                                                                                           | 49    |
| Şekil 3.2. Voellmy-Salm modelinin şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 52    |
| Şekil 3.3. AVAL-1D, FL-1D için girdi parametreleri .....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 55    |
| Şekil 3.4. Alfa – Beta Akış Modeli.....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 59    |
| Şekil 5.1. Bozdağ pilot bölgesi için kar yükseklikleri .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 89    |
| Şekil 5.2. E05K001 Numaralı Kar Gözlem İstasyonunda rasat yapılan tarihlerdeki kar derinliği, söz konusu derinliklere tekabül eden kar-su eşdeğeri ve kar yoğunlukları .....                                                                                                                                                 | 91    |
| Şekil 5.3. Çığ başlama bölgesi için eğim açısının dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 96    |
| Şekil 5.4. $A_{25000}$ - 1.1 simülasyonu sonucunda 1 No'lu enkesitte hesaplanan $h_{max}$ , $V_{max}$ ve $P_{max}$ değerlerinin enkesit boyunca değişimi .....                                                                                                                                                               | 121   |
| Şekil 5.5. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücre boyutlu altlıkta $400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığ simülasyonlarından ( $A_{25000} - 1.1$ , $A_{25000} - 1.3$ , $A_{25000} - 1.5$ ) elde edilen enkesitlerdeki maksimum derinlikler ..... | 128   |
| Şekil 5.6. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücre boyutlu altlıkta $400 \text{ kg/m}^3$ yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığ simülasyonlarından ( $A_{25000} - 1.1$ , $A_{25000} - 1.3$ , $A_{25000} - 1.5$ ) elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar .....      | 129   |

| Şekil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.7. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücre boyutlu altlıkta 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığ simülasyonlarından (B <sub>25000</sub> – 1.1, B <sub>25000</sub> – 1.3, B <sub>25000</sub> – 1.5) elde edilen enkesitlerdeki maksimum derinlikler ..... | 129   |
| Şekil 5.8. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücre boyutlu altlıkta 400 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığ simülasyonlarından (B <sub>25000</sub> – 1.1, B <sub>25000</sub> – 1.3, B <sub>25000</sub> – 1.5) elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar .....      | 130   |
| Şekil 5.9. Simülasyon sonucu üretilen durma bölgesindeki kar yükseklikleri .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 139   |
| Şekil 5.10. Enkesit – a için bulunan maksimum basınç dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 140   |
| Şekil 5.11. Çığın hızlanmasına karşı koyan kuvvetler.....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 142   |
| Şekil 5.12. Bir çığ güzergâhı boy kesitindeki temsili ardışık bölümler.....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 145   |
| Şekil 5.13. Koca Dere çığ güzergâhının boy kesiti.....                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 147   |
| Şekil 5.14. Koca Dere çığ güzergâhı üzerinde RAMMS programının ürettiği maksimum hızlar.....                                                                                                                                                                                                                                                   | 150   |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 1.1. Roma İmparatoru I. Maximillian'ın, Bordo Düşesi Mary ile evlenmek üzere yaptığı seyahatin epik şiir tarzında Almanca olarak anlatıldığı 'Theuerdank' isimli eserde yer alan "Çığ Sebepli Bir Kaza (Unfall verursacht eine Lawine)" adlı 36. Bölüm için Hans Burgkmair tarafından (1517) yapılan bir gravür ..... | 1     |
| Resim 1.2. 1993 yılı Ocak ayında Bayburt iline bağlı Üzengili Köyünde meydana gelen çığın etkileri .....                                                                                                                                                                                                                    | 2     |
| Resim 1.3. 18 Ocak 1993 tarihli Bayburt Postası Gazetesi ve yıkım haberi verilen köy camisinin sonradan tamir edilmiş hali .....                                                                                                                                                                                            | 3     |
| Resim 2.1. Gevşek Kar Çıığı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 10    |
| Resim 2.2. Tabaka Çıığı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 11    |
| Resim 2.3. Toz Kar Çıığı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 12    |
| Resim 2.4. Blok Kar Çıığı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 13    |
| Resim 2.5. Karışık Kar Çıığı.....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 13    |
| Resim 2.6. Bozdağ kuzey cephede kar profili için yapılan çalışmaya ait bir fotoğraf ..                                                                                                                                                                                                                                      | 22    |
| Resim 2.7. Çığ patikasının bölümleri .....                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 24    |
| Resim 2.8. Tabaka çığına ait patikanın detaylandırılmış bölümleri .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 26    |
| Resim 2.9. Tabaka çığına ait başlama bölgesi .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 26    |
| Resim 3.1. Ram (çarpma) etkisi ile penetrometre ölçümü yapan aletlerin 1936 yılında yapılan ilk örnekleri .....                                                                                                                                                                                                             | 44    |
| Resim 3.2. Vallée de la Sionne (İsviçre) ölçüm alanından alınan bir çığa ait hız zaman serileri (a):Tüm çığ boyunca;(b): çığın ön yüzü; (c): Çığın orta büyük kütlesi; (d) Çığ arkası (u: Çığın hızı, t: zaman) .....                                                                                                       | 46    |
| Resim 3.3. Çığ modellerinin genel sınıflandırılması .....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 50    |
| Resim 4.1. RAMMS tarafından üretilen örnek bir simülasyon sonucu .....                                                                                                                                                                                                                                                      | 64    |
| Resim 4.2. RAMMS sürtünme parametreleri ( $\mu$ ve $\xi$ ) penceresinin ekran alıntısı .....                                                                                                                                                                                                                                | 66    |
| Resim 4.3. RAMMS global parametreleri penceresinin ekran alıntısı .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 67    |
| Resim 4.4. Hesap etki alanı için örnek ekran alıntısı .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 73    |



| <b>Resim</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 4.5. Çığ kopma bölgesi örnek ekran alıntısı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 74           |
| Resim 4.6. Sayısal düzensizlik sonucu oluşan hız pikleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 75           |
| Resim 4.7. Temsili yumuşak eğimli arazi (a), Temsili düzensiz (kırıklı) arazi (b) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 75           |
| Resim 4.8. Sayısal düzensizlik sonucu oluşan hız pikleri (a), Düzensiz (kırıklı) arazi (b), Aynı arazinin ArcGIS programı ile (5x5 mean filtering) daha yumuşak (az kırıklı) hale getirilmiş hali (c) .....                                                                                                                                                                            | 76           |
| Resim 4.9. Sayısal düzensizlik örneği ve çözümleri; Sayısal düzensizlik (kırmızı ile çevrilmiş bölge) sonucu oluşan hız pikleri dikkate alınmaz (a), Düzensiz (kırıklı) arazi için programda yapılan 1. Derece sayısal çözüm (b) , Aynı arazinin ArcGIS programı ile (5x5 mean filtering ) daha yumuşak (az kırıklı) hale getirilmiş halinde yapılan 2. Derece sayısal çözüm (c) ..... | 76           |
| Resim 4.10. Örnek simülasyon sonuçları: Maksimum akım derinliği (kar yüksekliği) değerleri (a), Maksimum akım hızları (b), Maksimum basınç değerleri (c) .....                                                                                                                                                                                                                         | 78           |
| Resim 4.11. RAMMS tarafından oluşturulan en kesit örneği.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 78           |
| Resim 4.12. En kesit çıktısı örneği (a), Boy kesit çıktısı örneği (b) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 79           |
| Resim 4.13. Grafikselsel kullanıcı ara yüzü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 80           |
| Resim 5.1. Pilot bölgeye ait genel vaziyetler, (a) ArcGIS görüntüsü ve (b) Google Earth görüntüsü.....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 83           |
| Resim 5.2. Kayak merkezindeki otelin zarar gören yan penceresi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 83           |
| Resim 5.3. Zarar gören telesiyej direği .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 84           |
| Resim 5.4. Çığ sonrası köprünün görüntüsü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 84           |
| Resim 5.5. E05K001 Numaralı Kar Gözlem İstasyonu ve Bozdağ OMGİ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 85           |
| Resim 5.6. Bozdağ OMGİ'den genel görünüm .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 85           |
| Resim 5.7. Mansaptan membaya doğru pilot havzanın görünümü .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 86           |
| Resim 5.8. Bozdağ zirvesinden görünüm .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 87           |
| Resim 5.9. Bozdağ zirvesindeki çığ önlem yapıları.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 90           |
| Resim 5.10. Bozdağ kayak merkezinde 20 Ocak 2013 tarihinde oluşan çığa ait kırılma hattına ait fotoğraf .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 90           |

| <b>Resim</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 5.11. Basılı haritadan ArcGIS programı vasıtasıyla SYM elde edilmesi sürecinde üretilen ara veriler.....                                                                                                                                                   | 93           |
| Resim 5.12. Bozdağ çalışma alanındaki drenaj kolları .....                                                                                                                                                                                                       | 93           |
| Resim 5.13. RAMMS::Avalanche global parametreleri .....                                                                                                                                                                                                          | 94           |
| Resim 5.14. Bozdağ pilot alanına ait eğim haritası.....                                                                                                                                                                                                          | 97           |
| Resim 5.15. Bozdağ zirvesinin kuzey (fotoğrafın sol tarafı) ve güney (fotoğrafın sağ tarafı) yamaçları .....                                                                                                                                                     | 98           |
| Resim 5.16. Bozdağ pilot alanına ait bakı haritası .....                                                                                                                                                                                                         | 99           |
| Resim 5.17. Bozdağ pilot alanına ait eğrisellik haritası .....                                                                                                                                                                                                   | 100          |
| Resim 5.18. Bozdağ pilot alanına ait yükseklik haritası .....                                                                                                                                                                                                    | 101          |
| Resim 5.19. Bozdağ zirvesinden telesiyej ve kayak merkezini de kapsayacak şekilde çalışılan havzanın genel görünümü .....                                                                                                                                        | 102          |
| Resim 5.20. Koca Dere çığ güzergâhı için seçilen potansiyel kopma bölgesi .....                                                                                                                                                                                  | 103          |
| Resim 5.21. Simülasyon kodlama sistemi.....                                                                                                                                                                                                                      | 106          |
| Resim 5.22. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada, 400 kg/m <sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 1.1$ ) maksimum kar derinlikleri ve yerleri.....  | 118          |
| Resim 5.23. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada, 350 kg/m <sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 2.1$ ) maksimum kar derinlikleri ve yerleri ..... | 118          |
| Resim 5.24. 1/25000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada, 400 kg/m <sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 1.1$ ) maksimum hızlar ve yerleri.....             | 119          |
| Resim 5.25. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada, 350 kg/m <sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 2.1$ ) maksimum hızlar ve yerleri .....           | 119          |
| Resim 5.26. Çalışılan çığ güzergâhı için seçilen enkesit yerleri .....                                                                                                                                                                                           | 120          |
| Resim 5.27. $A_{5000-1.1}$ simülasyonu için $h_{max}$ ve $V_{max}$ değerlerinin maksimumlarından geçirilen hatlar .....                                                                                                                                          | 132          |

| <b>Resim</b>                                                                                                                      | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 5.28. A <sub>5000</sub> -1.1 simülasyonu için $h_{\max}$ ve $V_{\max}$ değerlerinin maksimumlarından geçirilen hatlar ..... | 133          |
| Resim 5.29. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS programının ürettiği simülasyonun plandaki görünümü .....                          | 138          |
| Resim 5.30. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS programının ürettiği simülasyon sonucu ve kayak merkezinin konumu .....            | 140          |
| Resim 5.31. Koca Dere çığ güzergâhı ve Kayak Merkezinin planda görünüşü .....                                                     | 146          |
| Resim 5.32. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS programının ürettiği maksimum hızların plandaki görünümü.....                      | 149          |

**HARİTALARIN LİSTESİ**

| <b>Harita</b>                                                                          | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Harita 5.1. Bozdağ pilot bölgesi için ölçeksiz yer bulduru haritası.....               | 81           |
| Harita 5.2. Bozdağ pilot çalışma alanının 1/25000 ölçekli basılı haritadaki yeri ..... | 82           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler   | Açıklamalar                                                                                                                                                                                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A, B, k$  | Sabit                                                                                                                                                                                                            |
| $B_0$      | Kırılma genişliği                                                                                                                                                                                                |
| $C$        | Kohezyon değeri                                                                                                                                                                                                  |
| $C^\circ$  | Santigrat Derece                                                                                                                                                                                                 |
| $cm$       | Santimetre                                                                                                                                                                                                       |
| $d_P$      | P noktasındaki akım derinliği                                                                                                                                                                                    |
| $F$        | Normal kuvvete eklenen merkezkaç kuvveti                                                                                                                                                                         |
| $F(V)$     | Akı fonksiyonu                                                                                                                                                                                                   |
| $g$        | Yerçekimi ivmesi                                                                                                                                                                                                 |
| $G(V)$     | Kütle sürüklenmesi, yerçekimsel ivmeler, oluşan rasgele enerji gibi hareketi oluşturan ve sürtünme kuvvetleri, kaybolan rasgele kinetik enerji gibi hareketi durdurmaya çalışan kaynak terimlerini içeren vektör |
| $GHz$      | Gigahertz                                                                                                                                                                                                        |
| $GB$       | Gigabyte                                                                                                                                                                                                         |
| $H$        | Çığ derinliği                                                                                                                                                                                                    |
| $ha$       | Hektar                                                                                                                                                                                                           |
| $h, d_0$   | Kırılma (Kopma) derinliği                                                                                                                                                                                        |
| $h(z)$     | z kotundaki kar derinliği                                                                                                                                                                                        |
| $h(z_0)$   | $z_0$ kotundaki kar derinliği                                                                                                                                                                                    |
| $h_t$      | Tahmin edilen kar derinliği                                                                                                                                                                                      |
| $h_0$      | İlk kotdaki kar derinliği                                                                                                                                                                                        |
| $h_{max}$  | Çığ simülasyonu ile elde edilen maksimum kar derinliği                                                                                                                                                           |
| $H_{wind}$ | Rüzgâr ile biriken ilave kar derinliği                                                                                                                                                                           |
| $\Delta H$ | İki nokta arasındaki kot farkı                                                                                                                                                                                   |
| $kg$       | Kilogram                                                                                                                                                                                                         |

**Simgeler****Açıklamalar****K**

Çığ güzergâhının burulmasını da içerecek şekilde bütün yönlerdeki güzergâh eğriliğini tanımlayan bir matris

 $K_{act/pas}$ 

Boyutsuz aktif / pasif toprak basınç katsayısı

**L**

Çığın güzergâhı boyunca kat ettiği mesafe

 $L_\alpha$ 

Başlangıç noktasından itibaren yatayda maksimum akma mesafesi

 $L_\beta$ 

Beta noktasının başlangıç noktasına olan yatay mesafesi

 $L_\psi$ 

Başlama bölgesinin yataydaki uzunluğu

**m**

Metre

 $m^2$ 

Metrekare

 $m^3$ 

Metreküp

**mm**

Milimetre

**MB**

Megabyte

**N**

Newton

 $N$ 

Dikkate alınan çığ adedi (örneklem sayısı)

 $\mathcal{N}$ 

Akma yüzeyine dik kuvvet

**Pa**

Pascal

**P**

Çığın durmaya başladığı nokta (Beta Noktası)

 $P_{max}$ 

Çığ simülasyonu ile elde edilen maksimum basınç

 $\dot{P}_w$ 

Yükleme oranı

 $R_s^0$ 

Yatak sürtünme yüksekliği

**R**

Rasgele kinetik enerji

**s**

Saniye

 $S, S$ 

Çığ durma mesafesi

**S**

Standart sapma

 $S_R$ 

Sürtünme direnci

 $S_z(t)$ 

Kar tabakasının zamana bağlı stabilite endeksi

**t**

Zaman

**Simgeler****Açıklamalar**

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| $\bar{u}$       | Günlük ortalama rüzgâr hızı                    |
| $u, v$          | Çığ hızı                                       |
| $V$             | Çığ durma bölgesindeki ortalama hız            |
| $V_{\max}$      | Çığ simülasyonu ile elde edilen maksimum hız   |
| $v_0$           | Başlangıç bölgesinde çığ hızı                  |
| $v_P$           | P noktasındaki çığ hızı                        |
| $z$             | Kar derinliği                                  |
| $z, z_0$        | Deniz seviyesinden olan yükselti               |
| $\dot{Q}$       | Kar sürüklenme oranı                           |
| $\rho$          | Yoğunluk                                       |
| $^{\circ}$      | Derece (Açı)                                   |
| %               | Yüzde                                          |
| $\psi$          | Yamaç eğimi                                    |
| $\psi_0, \Psi$  | Başlangıç bölgesi eğimi                        |
| $\psi_s$        | Durma bölgesi eğimi                            |
| $\psi_P, \beta$ | P noktasındaki eğim                            |
| $\tau_{fz}(t)$  | Bazal kayma gerilmesi                          |
| $\mu$           | Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı           |
| $\xi$           | Türbülanslı sürtünme katsayısı                 |
| $\tau_s$        | Akım direnci                                   |
| $\zeta$         | Eğim açısı                                     |
| $\delta$        | Yatak sürtünme açısı                           |
| $\varepsilon$   | En – boy oranı                                 |
| $\lambda$       | Çığ kütlelerinin (karın) içsel deformasyonları |
| $\sigma^{(b)}$  | Normal gerilme                                 |
| $K$             | Von-Karman katsayısı                           |

**Kısaltmalar****Açıklamalar****AFAD**

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

**AİGM**

Afet İşleri Genel Müdürlüğü

**ASCII**

American Standard Code for Information Interchange

**CBS**

Coğrafi Bilgi Sistemleri

**DSİ**

Devlet Su İşleri

**KGİ**

Kar Gözlem İstasyonu

**MGM**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü

**NGİ**

Norveç Geoteknik Enstitüsü

**OMGİ**

Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu

**RKE**

Rasgele Kinetik Enerji

**SLF**

Institut für Schnee und Lawinenforschung

**SYM**

Sayısal Yükseklik Modeli

**TIN**

Düzensiz Üçgen Ağ

**TÜBİTAK**

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

**WSL**

The Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research



## 1. GİRİŞ

Çığ, en genel ifade ile kar yağışı alan bölgelerdeki yamaçlarda biriken karın herhangi bir neden ile harekete geçerek güzergâhı boyunca daha aşağı kotlara doğru akması ve burada birikmesi olarak tanımlanabilir. Tıpkı kaya düşmesi ve heyelanlar gibi temel olarak bir kütle hareketi olan çığlar özellikle yüksek dağlık bölgelerdeki insan yaşamını tarih boyunca tehdit etmiş ve etmekte olup ulaşım şartlarını önemli ölçüde etkilemektedir (Resim 1.1).



Resim 1.1. Roma İmparatoru I. Maximillian'ın, Bordo Düşesi Mary ile evlenmek üzere yaptığı seyahatin epik şiir tarzında Almanca olarak anlatıldığı 'Theuerdank' isimli eserde yer alan "Çığ Sebepli Bir Kaza (Unfall verursacht eine Lawine)" adlı 36. Bölüm için Hans Burgkmair tarafından (1517) yapılan bir gravür (Pudasaini ve Hutter, 2007: 28).

Doğa kökenli bir afet olarak çığ, Avrupa Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Kanada, Japonya, Hindistan gibi dünyanın birçok ülkesinde görülmektedir. Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %67'sinin 800 metreden daha yüksek dağlık arazide yer aldığı

düşünüldüğünde (Arslan, 2014) ülkemizin kar ve çığ ile mücadele etmek zorunda olduğu açıktır. Ancak, Ülkemizde çığ afeti ile yerleşim birimlerinde sık sık karşı karşıya kalınmadığı için hem kurumsal hem de toplumsal olarak çığa karşı önlem bilinci maalesef yeterince oluşturulamamıştır. Oysa çığlar sadece yerleşim yerlerini değil yerleşim yerleri ile birlikte diğer bazı altyapı ve bayındırlık faaliyetlerini de (örneğin karayolları, demiryolları, enerji nakil hatları, iletişim hatları gibi) olumsuz yönde etkilemekte can kayıplarının yanında zamansal ve ekonomik kayıplara, zarar gören tesislerin desteklediği konfor seviyesinde de bozulmalara sebebiyet vermektedir.

Ülkemizde çığ olayı ile ilgili yeterli düzeyde bir farkındalık oluşmadığından çığ analizine yönelik yeterli seviyede veriler de mevcut değildir. Oysa Avrupa’da çığ ile ilgili oldukça fazla deneyime sahip ülkeler halen çığ verilerini yeni istasyonlar ve yeni teknolojilerle arttırmaktadırlar. Çünkü çığ olayı zamansal ve mekânsal olarak sürekli değişen bir özelliğe sahiptir. Bu nedenle yeni istasyonlar kurulmakta olup söz konusu istasyonlardan elde edilen veriler hem tahmin modellerinde girdi olarak kullanılmakta hem de ileride kullanılmak üzere ham veri olarak literatüre ilave edilmektedir.

Ülkemizde, 1991-1992 ve 1992-1993 kış mevsimlerinde yaralanma ve ölümlere neden olan 100’ü aşkın çığ afeti meydana gelmiş olup söz konusu çığlar 450’den fazla vatandaşımızın hayatını kaybetmesine, pek çok kişinin yaralanmasına, büyük maddi kayıplara ve sosyal yaralara neden olmuştur (Rudolf-Miklau, Sauermoser ve Mears, 2015: 12).



Resim 1.2. 1993 yılı Ocak ayında Bayburt iline bağlı Üzengili Köyünde meydana gelen çığın etkileri (Gürer ve Naaım, 1993).



Resim 1.3. 18 Ocak 1993 tarihli Bayburt Postası Gazetesi ve yıkım haberi verilen köy camisinin sonradan tamir edilmiş hali (URL1: <http://www.webcitation.org/733bTjbge>)

Ülkemizde çığ zararlarını azaltma amaçlı projeler ve akademik çalışmalar bu üzüntü verici olaylar sonucunda ancak başlatılmıştır. Oysa konu ile ilgili Avrupa'daki çalışmalar çok daha öncelere, 1950'li yıllara dayanmaktadır. Bu nedenle mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından çığ konusunda deneyim sahibi ülkeler ile temasa geçilmiş ve bu ülkelerin deneyimlerinden yararlanılmak amacıyla bazı projelere başlanılmıştır. Fakat bu projelerden elde edilen kazanım daha çok, deneyimli ülkelerdeki mevcut bilginin bir kısmının ülkemize getirilmesi ile sınırlı kalmıştır. Örneğin çığ araştırmalarının hemen hemen her aşamasında gerekli olacak verilerin sahadan alınması için herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemiştir (Koçyiğit, Tekin ve Arslan, 2016).

Çığ verileri çığ başlama bölgesinden alınması gereken özel verilerdir. Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte bu tür verilerin elde edilmesi ve saklanması daha kolay hale gelmiş ve ülkemizde de uygulanabilirliği test edilmiştir (Koçyiğit ve diğerleri, 2016).

Yerleşime açık ve çığ patikası altında bulunan bölgeler için mutlaka çığ tehlikesine maruz kalıp kalmadığının tespiti gerekmektedir. Günümüzde bu çalışma çığın dinamik olarak modellenmesini sağlayan bilgisayar yazılımları ile yapılabilir. Bu konudaki bilgisayar programlarının yazılmasına 1980'li yıllarda başlanmış olup bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelere paralel olarak halen geliştirilerek devam edilmektedir. Dünyada başta Avrupa ülkeleri olmakla birlikte Amerika Birleşik Devletleri, Rusya Federasyonu ve Japonya da çığın dinamik modellenmesi konusunda araştırmalar gerçekleştiren ülkelerdendir. Ancak henüz Türkiye'de böyle bir çalışma yapılmamış olup ülkemize özgü bir modelin geliştirilmesinin ve kullanımının ilgili kurum / kuruluşlarda yaygınlaştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Çığ araştırmaları konusunda çalışan ülkelerdeki araştırma merkezleri tarafından geliştirilmiş çığ modellerinin ülkemizde kullanımlarının uygunluğu henüz kesinlik kazanmamıştır. Çığ araştırmalarında önde gelen ülkelerden birisi İsviçre'dir. Çığ konusunda öncü araştırma merkezlerinden biri İsviçre'nin Davos kentinde bulunan Kar ve Çığ Araştırmaları Enstitüsü'dür (Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF). Bu merkezde çığın dinamik modellenmesi ile ilgili çalışmalar 1950'li yıllardan bu yana kesintisiz olarak devam etmektedir. Bu araştırma merkezi tarafından geliştirilen bir boyutlu çözüm yapan dinamik çığ modeli AVAL-1D ve iki boyutlu çözüm yapan fakat çıktılarını arazi üzerinde üç boyutlu gösterebilen RAMMS (Rapid Mass Movements) isimli dinamik modeller, İsviçre ve birçok farklı ülkede kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında çığın sayısal model sonuçlarının irdelenmesi için RAMMS programının kullanılmasına karar verilmiştir. Şu anda oldukça yaygın olarak kullanılan bu modelin ülkemizde seçilecek bir pilot alanda elde edilecek sonuçlarının tartışılması amaçlanmıştır.

RAMMS modelinin ülkemiz için uygunluğunu araştırmak amacı ile ülkemizin batısında yer alan İzmir Bozdağ Kayak Merkezi pilot saha olarak seçilmiştir.

Bu konu ile ilgili Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Koçyiğit yürütücülüğünde 2014 Kasım – 2017 Kasım tarihleri arasında Araştırma Projesi (TÜBİTAK 1001) gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında kullanılacak kar ile ilgili veriler; DSİ Kar Gözlem İstasyonu (KGİ) ve TÜBİTAK Projesi kapsamında seçilen pilot bölgenin çığ başlangıç kotuna kurulan Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonundan (OMGİ'den) elde edilmiştir.

Çığ tehlikesinin belirlenmesinde rakım, kar yüksekliği, bakı, bitki örtüsü, arazi şekli, hâkim rüzgâr yönü vb. parametreler kullanılmaktadır. Türkiye'de kar ile ilgili rasatlar Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), DSİ Genel Müdürlüğü ve üniversiteler gibi farklı Kurum/Kuruluş tarafından toplanmakta ve değerlendirilmektedir. Kapsamlı kar verileri MGM ve DSİ Genel Müdürlüğü tarafından düzenli bir şekilde kayıt edilse de çığ kopma bölgesi kotunda istasyon mevcut olmadığından alınan kar verileri çığ tehlikesinin belirlenmesi amacıyla kullanılamamaktadır.

Tez kapsamında yapılmış olan çalışmalar ve amaçları aşağıdaki üç paragrafta özet olarak verilmektedir.

RAMMS programında kullanılmak üzere, seçilen pilot alan için 1/25.000 ve 1/5.000 olacak şekilde iki farklı ölçekli haritadan, 10 m x 10 m ve 20 m x 20 m olmak üzere farklı hücre boyutlarında (pixel size) altlıklar üretilmiş olup aynı çığ parametreleri (girdileri) için farklı harita altlıkları kullanıldığında programın ürettiği sonuçlar yorumlanmıştır. Böylece programın çıktıları ile altlık olarak kullanılan haritanın ölçeği ve hücre boyutu arasında bir ilişki olup olmadığı tespit edilmiştir.

Tez kapsamında çalışılmak üzere seçilen pilot bölgedeki gerçekleşmiş çığlara ait eldeki mevcut veriler ile bu bölgeye ait elde edilmiş yeni veriler, İsviçre merkezli Kar ve Çığ Araştırma Enstitüsü (SLF) tarafından çığların dinamik modellenmesi için geliştirilen ve halen değişik ülkelerde yaygın olarak kullanılan RAMMS sayısal modeli tarafından üretilen sonuçlar ile mukayese edilerek söz konusu modelin ülkemiz kullanımı için uygunluğu sorgulanmıştır.

Kütle merkezli çığ modeli kavramsal olarak irdelenmiş olup söz konusu model seçilen çığ güzergâhında çalıştırılmış, model çıktıları çalışılan çığ güzergâhına ait gerçek veriler ile doğrulanmış ve söz konusu modelin çıktıları ile RAMMS modelinin çıktıları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, kütle merkezli çığ modelinin çığ patikalarındaki kullanım uygunluğu değerlendirilmiştir.

Bu tez, sırasıyla ‘Giriş’, ‘Çığ Olayı İle İlgili Temel Kavramsal Bilgiler’, ‘Çığ İle İlgili Yapılan Çalışmalar’, ‘RAMMS Programı’, ‘Pilot Alanda Yapılan Çalışmalar’ ve ‘Sonuç ve Öneriler’ olmak üzere toplam 6 adet ana bölümden oluşmaktadır.

‘GİRİŞ’ bölümünde özetle, çalışma konusu olarak neden çığ konusunun seçildiği, konunun önemi, bu çalışma ile ulaşılması hedeflenen amaçlar ve çalışma sonucunda elde edilmesi beklenen faydalar ile birlikte tezin bölümleri hakkında genel tanıtıcı bilgiler verilmektedir.

‘ÇIĞ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMSAL BİLGİLER’ bölümü, ülkemizde çığ olayı ile ilgili henüz yeterli düzeyde bir farkındalık oluşmadığı düşünüldüğünde ve çığ ile ilgili oldukça fazla deneyime sahip Avrupa’daki ülkeler ile kıyaslandığında ülkemize özgü çığ analizlerine yönelik yeterli seviyede veri ile fazla bir çalışma yapılmadığından bu konuda çalışacak araştırmacılara çığ olayının ana unsurlarını temel kavramları ile aktarabilmek için oluşturulmuştur.

‘ÇIĞ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR’ başlıklı bölümde, bugüne değin çığın modellenmesine yönelik yapılan çalışmalara ait literatür bilgileri özet olarak verilmiştir. Bunun için yurtdışında özellikle Avrupa’da yapılan araştırmalar ile Ülkemizde yapılan çalışmaları kapsayacak şekilde makaleler, bildiriler, raporlar, tezler ve araştırma proje çalışmaları detaylı bir şekilde taranmış olup söz konusu tarama sonucu elde edilen konu ile ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

‘RAMMS PROGRAMI’ başlıklı bölümde, bu tezi de içeren çalışmalarda kullanılmak üzere İsviçre merkezli Kar ve Çığ Araştırma Enstitüsü’den temin edilen program, programa ait genel bilgiler, kullanılan sürtünme modeli, hesaplarda kullanılan parametreler, kullanılan sayısal çözüm tekniği, çıktıların görselleştirilmesi ve analizi, sayısal düzensizlikler ve programın kurulacağı bilgisayara ait asgari donanım gereksinimleri gibi hususlar ana hatları ile anlatılmıştır.

‘PİLOT ALANDA YAPILAN ÇALIŞMALAR’ bölümünde ise özetle, pilot alanın seçiminin neye göre yapıldığı, seçilen pilot alana ait altlık haritaların ArcGIS programı kullanılarak nasıl hazırlandığı, potansiyel çığ kopma bölgelerinin tayininin, kar kopma derinliği ile kar yoğunluğu için kullanılacak aralığın nasıl belirlendiği anlatılmış olup ayrıca seçilen pilot alanda tez kapsamında yapılan çalışmalar verilmiştir.

‘SONUÇ VE ÖNERİLER’ olarak adlandırılan son bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda oluşturulan öneriler verilmiştir.

## 2. ÇIĞ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMSAL BİLGİLER

### 2.1. Giriş

Çığ konusunda Türk araştırmacılar tarafından bu konudaki yabancı çalışmalara kıyasla fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca Türkçe literatür incelendiğinde çığ konulu kavramsal çerçeveyi içeren el kitabı, ders notu veya kaynak kitap niteliğinde yayınlar mevcut değildir. Bu konuda yapılan akademik çalışmalar dahi oldukça sınırlı sayıdadır. Bu nedenle bu bölümde çığ ile ilgili temel kavramsal bilgiler ve tez içerisinde kullanılan terimlerin açıklamaları verilmiştir.

Çığlar fiziksel olarak, birbirlerini etkileyen özellikleri zamana ve konuma göre değişim gösteren rastgele dağılımlı fazlardan müteşekkil çok fazlı yerçekimi akışları olarak karakterize edilebilir (Lang ve Dent, 1980, 1982). Buradan hareketle, Pudasaini ve Hutter (2003) tarafından çığ, granüler bir katmanın istikrarsızlığı ile başlayan ve çeşitli yüzey direncine sahip rasgele dik bir topoğrafyada aşağıya doğru akan granüler parçalardan oluşan kütle sisteminin serbest yüzeydeki yerçekimi tahrikli üç boyutlu geçici hareketi olarak tarif edilmiştir.

Kar çığları, kar kütlelerinin dik yamaçlardan hızla düşmesidir. Kar çığları kaya, toprak bitki veya buz parçaları içerebilmektedir (Schweizer, Jamieson ve Schneebeli, 2003).

Başka bir ifadeyle çığ, yamaçtan aşağı doğru yer çekimi etkisiyle büyük bir kütlenin hareketi olarak tanımlanabilir. İngilizce'deki karşılığı "Avalanche" olan çığ sözcüğü köken itibariyle Fransızca kaynaklıdır. Avalanche sözcüğü; hareket eden kütle için kar, buz, kaya, moloz veya bunların karışımını içerirken, Türkçede çığ sözcüğü sadece kar kütlesinin hareketini tanımlar.

### 2.2. Çığların Sınıflandırılması

Çığlar oluş sebepleri, yinelenme periyotları, akan kütlenin büyüklüğü, kar kütlesinin içeriği, aktığı güzergâhın geometrisi, hareketin türü gibi kıstaslara göre sınıflandırılmaktadır.

Çığların sınıflandırılması konusu, karın sınıflandırılmasından dahi daha eski yıllara dayanmaktadır.

Çığ ve kar konusunda çalışan çoğu bilim adamı kendi sınıflandırma sistemini önermişlerdir (De Quervain, De Crecy, LaChapelle, Losev ve Shoda, 1973).

Avrupa’da yapılan ilk çığ sınıflamalarından birisi J. Coaz tarafından 1888 yılında yılında önerilmiştir. Bu sınıflandırmada çığlar, kayma yüzeyine yakın hareket eden “Zemin Çığları” ve “Toz Çığları” olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır. Zemin çığları düşük hızlara sahip kar akımı olarak karakterize edilmiştir. Bu sınıflandırmada üçüncü bir sınıflandırma tipi olarak buz çığları önerilmiştir.

F. Ratzel tarafından 1889 yılında önerilen sınıflandırmada çığlar, benzer şekilde “Zemin Çığları” ve “Toz Çığları” olmak üzere yine iki grupta sınıflandırılmış olup bu sınıflandırmadaki zemin çığları; yuvarlanan ve kayan çığlar olmak üzere iki alt sınıfta değerlendirilmiştir.

Bu konuda V. Pollak (1891), A. Allix (1925), F. Fankhauser (1929), G. Seligman (1936), W. Paulcke (1938), W. Flaig (1955) ve R. Haefeli (1955) tarafından değişik tarihlerde değişik sınıflandırmalar önerilmiştir (De Quervain ve diğerleri, 1973).

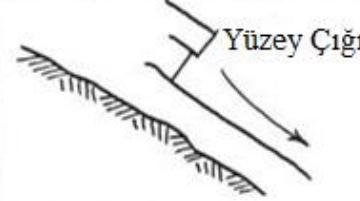
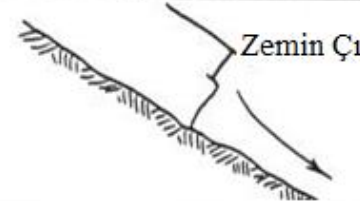
Çığların sınıflandırılmasına yönelik kapsamlı bir çalışma M. R. De Quervain başkanlığında teşkil edilen bir komisyon tarafından 1973 yılında gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu komisyon tarafından yapılan bu sınıflandırmada çığlar morfolojik ve genetik olarak iki sınıfta incelenmiştir.

Morfolojik sınıflandırmada akan karın özellikleri ve çığın görünümü dikkate alınmıştır. Çığı oluşturan koşulların değerlendirildiği genetik sınıflandırmada ise çığ oluşumunu tetikleyen topoğrafik ve meteorolojik faktörler dikkate alınmıştır (De Quervain ve diğerleri, 1973).

Morfoloji dikkate alınarak yapılan bir sınıflandırma örneği Şekil-2.1’de verilmektedir.



|                                 |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                      |                                                                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kopma Bölgesinin<br>Tipine Göre | Tabaka Çıığı                                                                        |                                                                                    | Gevşek Kar Çıığı                                                                     |                                                                                     |
|                                 |    |                                                                                    |    |                                                                                     |
| Hareketin Türüne<br>Göre        | Toz<br>Kar Çıığı                                                                    | Blok Kar Çıığı                                                                     |                                                                                      | Karışık<br>Kar Çıığı                                                                |
|                                 |   |  |                                                                                      |  |
| Su<br>İçeriğine<br>Göre         | Kuru                                                                                |                                                                                    | Nemli                                                                                |                                                                                     |
| Kayma<br>Zeminine<br>Göre       | Yüzey Çıığı                                                                         |                                                                                    | Zemin Çıığı                                                                          |                                                                                     |
|                                 |  |                                                                                    |  |                                                                                     |

Şekil 2.1. Çıığı Tipleri (LaChapelle, 1985: 48)

Şekil 2.1’de verilen kar çııkları;

- Kopma bölgesinin tipine göre “gevşek kar çıığı” ve “tabaka çıığı” olmak üzere iki farklı tür,
- Hareketin türüne göre “toz kar çıığı”, “blok kar çıığı” ve “karışık kar çıığı” olmak üzere üç farklı tür,
- Kar kütlesindeki serbest su içeriğine göre “kuru”, “nemli” ve “ıslak” olmak üzere üç farklı tür,
- Kayma zeminine göre “yüzey çıığı” ve “zemin çıığı” olmak üzere iki farklı tür olarak sınıflandırılmaktadır.

### 2.2.1. Kopma bölgesinin tipine göre sınıflandırma

#### Gevşek Kar Çığları

Gevşek kar çığları, kuru veya ıslak karın görece olarak kohezyonsuz yüzey tabakasındaki bir noktasından başlar. Bu tür çığın başlangıcı kohezyonsuz kum veya toprağın dönerek kayması ile benzeşir. Fakat kohezyonsuz kum veya toprağa göre daha küçük hacimler ( $< 1 \text{ m}^3$ ) ile oluşmaya başlar (Perla, 1980). Gevşek kar çığı için bir örnek Resim 2.1’de verilmektedir.



Resim 2.1. Gevşek Kar Çığı (URL2: <http://www.webcitation.org/733dPfmv5>)

#### Tabaka çığı

Tabaka kar çığları, kohezyonlu bir kar tabakasının zayıf bir düzlemin geniş bir hat boyunca kopması ile oluşmaktadır (Perla, 1980). Bu tip çıklarda tabaka genişliğinin tabaka kalınlığına oranının 10 ile  $10^3$  arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kopan tabakanın kalınlığı genellikle 1 metrenin altında olmaktadır (Perla, 1977; Schweizer ve Jamieson, 2001). Tabaka çığı için bir örnek Resim 2.2’de verilmektedir.



Resim 2.2. Tabaka Çığı (URL3: <http://www.webcitation.org/733doh4fv>)

### 2.2.2. Hareketin türüne göre sınıflandırma

#### Toz kar çığı

Toz kar çığıları, ağır kar parçacıklarının hava içinde askıda kalarak eğik sınırlar boyunca hareket ettiği kesintili akımlardır. Bu tür çığılar sıklıkla yoğun tabaka çığılarından gelişir (Hopfinger, 1983). Toz kar çığıları, blok kar çığılarından konsantrasyon yönüyle ayırt edilebilir. Toz kar çığıları, hava içinde karın hacimsel anlamda seyreltik bir süspansiyonunu oluştururken, blok kar çığılarında ise karın ve havanın hacimsel konsantrasyonları birbirleri ile mukayese edilebilir seviyededir (Fukushima ve Parker, 1990).

Genel olarak toz kar çığılarının ortalama akım derinliği 10 – 100 m aralığında, hızları 50 – 100 m/s aralığında ve yoğunlukları ise 5 – 50 kg/m<sup>3</sup> aralığında olmaktadır (Pudasaini ve Hutter, 2007: 81). Toz kar çığı için bir örnek Resim 2.3’de verilmektedir.





Resim 2.3. Toz Kar Çıǒı (URL4: <http://www.webcitation.org/733eD2Oya>)

### Blok kar çıǒı

Blok kar çıǒı denince, yoğun yerçekimi etkisindeki laminar tip akıŒa sahip çıǒ anlaŒılır. Bu tip kar çıǒlarında yoğunluk oldukça fazla olup yoğunluklar  $150 \text{ kg/m}^3$  ile  $500 \text{ kg/m}^3$  aralıǒında deǒiŒebilmektedir. Bu tip çıǒlara özǒü tipik hızlar  $5 \text{ m/s}$  ile  $25 \text{ m/s}$  aralıǒındadır. Blok kar çıǒları genellikle yerel topografik özellikleri takip ederek bir kanal veya koridor boyunca akar. Blok kar çıǒlarında çıǒın aktıǒı yüzeydeki sürtünme önemlidir. Çoǒu kar ve buz çıǒları blok kar çıǒı olarak geliŒir. Bu tip kar çıǒlarının parçacık büyüklüǒü kar kütlelerinin termodinamik durumuna baǒlıdır. Taze ve kuru kar  $2 - 3 \text{ mm}$  çaplarında daneler oluŒurmaya meyilli iken ıslak kar ise çapları  $10 \text{ mm}$ 'den büyük hatta belki de çapları  $\text{dm}$  olarak ifade edilebilecek büyüklüklerde sert kartopları oluŒturur. Bahar dönemlerinde, başkalaŒım geçirmiş yaǒlı kar olarak ta ifade edilebilen eski kar kütlelerinin oluŒturduǒu blok kar çıǒları  $5 - 10 \text{ mm}$  çaplarında buz taneleri de içerebilmektedir (Pudasaini ve Hutter, 2007: 79).



Resim 2.4. Blok Kar Çıǒı (URL5: <http://www.webcitation.org/733fbper9>)

#### Karışık kar çıǒı

Karışık kar çıǒı çok sık bir şekilde gözlemlenir. Karışık kar çıǒıları, “yüzeyden akan çıǒ – toz çıǒ karışımı”, “yüzeyden akan çıǒ bileşene sahip toz çıǒ” veya “toz çıǒ bileşenine sahip yüzeyden akan çıǒ” olarak karakterize edilebilir. Çağlayan olarak da adlandırılabilen zeminden bağımsız toz veya akma şeklindeki bir harekettir (De Quervain ve diğeri, 1973). Bu tür çıǒ için bir örnek Resim 2.5’de verilmektedir.



Resim 2.5. Karışık Kar Çıǒı (URL6: <http://www.webcitation.org/733g5R5Sf>)

### 2.3. Çığ Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Atwater (1954) tarafından kar çığları ile ilgili olarak yayınlanan makalede çığ tehlikesine katkıda bulunan faktörler on adet olarak ele alınmıştır.

Bunlardan birincisi, yamaç üzerinde belli bir derinlikte eski kar tabakasının bulunması olarak ifade edilmiştir. Yamacın üzerinde 60 cm veya daha fazla derinliğe sahip eski kar tabakasının bulunması durumunda söz konusu tabakanın yamaçta bulunan zemine ait doğal engelleri kaplayarak zemini yeni kar tabakası için kaymaya daha elverişli hale getireceği belirtilmiştir. Eski kar tabakasına ait kalınlığın artmasının yamaçta yeni kar için kaymaya daha uygun bir yüzey sunmanın ötesinde bizzat çığın kütlesine katkı da sağladığı ifade edilmiştir.

İkinci faktör, eski kar yüzeyinin özelliğidir. Çığı etkileyen faktör olarak eski kar yüzeyi müspet veya menfi olarak katkıda bulunabilir. Eski kar tabakasının yüzeyinde yumuşak kar mevcutsa bu durum yağın yeni karın kohezyonlu olarak tabakaya daha rahat tutunmasına olanak sağlar ve bu durum müspet bir etkidir.

Ancak olası bir çığın başlaması durumunda yağın yeni kar eski kar tabakası ile birlikte hareket edeceğinden harekete geçen tabaka kalınlığı artacaktır ki bu da eski kar yüzey özelliğinin menfi etkisidir. Eski kar tabakasının yüzeyinde düşük kohezyonlu gevrek kar mevcutsa bu durumda olası çığ hareketinin başlangıcı yağın yeni kar tabakası ile sınırlı kalacaktır.

Üçüncü faktör, yeni yağın karın derinliğidir. Kendi başına bir çığın başlayabilmesi için asgari 30 cm'lik bir taze kar derinliğinin gerekli görüldüğü ifade edilmiştir.

Dördüncü faktör olarak yeni kar örtüsünün tipi değerlendirilmiştir. Özellikle yeni karın nemliliğinin (serbest su içeriğinin) bu faktör için önemli olduğu belirtilmiştir. Kar içerisindeki serbest nemin bağlayıcı bir etki göstererek belli limitler dâhilinde kohezyonu artırdığı, fakat iyi kohezyonun karın harekete geçmesini zorlaştırarak çığı engelleyebileceği gibi potansiyel kopma bölgelerinde rüzgâr ile taşınan kar kalınlığını da fazlaca artırmak suretiyle menfi yönde de katkı sağlayabileceğinden bahsedilmiştir.

Söz konusu çalışmada bahsedilen beşinci faktör, kar kütleindeki suyun kara oranı olarak ta ifade edilen karın toplam su içeriğidir. Buradaki en önemli hususun normdan ayrılma durumu olduğu ifade edilmiştir. Örneğin, kuru kar tiplerindeki su yüzdesi normal olarak ortalama % 5 – 8 civarlarında iken, bu oranın % 10'u geçtiği durumlarda karın ağırlığındaki artışın kohezyonundaki artışa nazaran daha hızlı olduğu, bu tip durumlarda da çığı oluşturan diğer koşullar açısından bir risk bulunmamasına rağmen çığ olayının gerçekleşebileceği belirtilmiştir.

Altıncı faktör olarak kar yağışının yoğunluğu dikkate alınmıştır. Burada, yeni karın yamaçtaki mevcut kar örtüsü üzerindeki birikme miktarının (hızı veya oranı) saatte 2.5 cm veya daha fazla olduğu durumlarda kar kütlelerinin yığılmasının, karın oturması (yerleşmesi) gibi dengeleyici kuvvetlere nazaran daha hızlı olacağından bahisle dikkat edilmesi gereken hallerden olduğu ifade edilmiştir. Dahası, yamaçtaki mevcut kar örtüsü üzerindeki yükün ani bir şekilde artmasının (yağış yoğunluğunun yüksek olması kaynaklı) normal şartlarda tedrici olarak (daha yavaş) tatbik edilmesi durumunda aynı basınca dayanabilecek alt tabakalardaki kırılma hatlarında kırık veya çatlaklara sebep olabileceği de belirtilmiştir.

Yedinci faktör, yağış şiddeti olarak ele alınmıştır. Yağış şiddetinin saatte 2,5 mm veya daha fazla olduğu ve toplam yağış miktarının 2,5 cm veya daha fazla olduğu durumlarda rüzgârın da etkisiyle çığ oluşumunun kritik seviyeye ulaştığı ifade edilmiştir.

Sekizinci faktör olarak değerlendirilen bir diğer faktör ise rüzgâr hareketidir. Rüzgâr hareketinin kar kristallerinin olduklarından daha basit ve daha az kohezyonlu şekle dönüşmesine, kimi yamaçlarda normalin ötesinde aşırı kar birikmesine, ayrıca kar kütlelerinde kararlı kabuklar ve kırılma tabakalar oluşmasına neden olan en önemli faktörlerden olduğu belirtilmiştir.

Dokuzuncu faktör olarak değerlendirilen sıcaklığın kar tipini dolaylı olarak etkilediği ifade edilmiştir. Kuru karın normal şartlarda  $-3,9\text{ C}^{\circ}$  veya daha düşük hava sıcaklıklarında yağdığı,  $-2,2\text{ C}^{\circ}$ 'nin üzerindeki sıcaklıkların karın hızlı yerleşmesine (oturmasına) ve başkalaşım geçirmesine neden olduğu belirtilmiştir. Sıcaklığın ani yükselmesinin çığı tetiklemeye yetecek kadar hızlı bir kohezyon kaybına neden olacağı, ani sıcaklık

düşmelerinin ise özellikle kar tabakalarındaki gerilmeleri artıracakı söylenmiştir. Yine bu çalışmada bahar mevsiminde sıcaklıkların tedrici olarak (yavaş yavaş) artmasının kar kütlelerinin yapısında kümülatif bozunmaya ve ağırlaşmaya yol açarak ıslak kar çığlarına neden olacağı belirtilmiştir.

Onuncu faktör olarak karın süreklilik arz eden yerleşmesi veya oturması ifade edilmiştir. Bu faktörün esas itibarıyla bir istisna dışında her zaman dengeleyici bir faktör olduğu istisnai durumun ise oturma sırasında gevşek kar katmanının, üzerinde bulunan tabakadan söz konusu tabakanın desteğini yok edecek bir şekilde büzülerek sıyrılması olduğu belirtilmiştir. Yeni kar katmanındaki oturma oranının %15'ten daha az olmasının az bir sıkılaşma olduğunu, oturma oranının %30'dan fazla olması durumunun ise stabilizasyon sürecinin hızlı gerçekleştiğini gösterdiği ifade edilmiştir.

Yine aynı çalışmada tüm bu faktörlerin kendi içerisinde değişim gösterdiği ve bunların birbirleri ile olan ilişkilerinin ise karmaşık olduğu belirtilmiştir.

### **2.3.1. Arazi faktörü**

Schweizer ve diğerleri (2003) çığ katkısı bakımından önemli faktörlerden olan arazi faktörünün zamanla değişmeyen tek faktör olduğunu ifade etmiştir.

Arazi faktörü başlığı altında çığ patikasının topoğrafik özelliklerinden (geometrisi ile ilgili) boyuna eğim, plandaki eğrisellik durumu ve yüzey pürüzlülüğü kısaca bahsedilmiştir.

Kuru tip tabaka çığları için genellikle 30°'nin üzerinde yamaç eğimi gerekmektedir. Kritik eğim açısını belirlemek için farklı ölçekler veya yöntemler mevcuttur. Çığ tahmininde önemli bir parametre olan kritik eğim Schweizer ve diğerleri (2003) tarafından, çığ başlangıç bölgesinin yatayda 20'şer m'lik kısımlara bölünmesi ile hesaplanan ortalama eğimlerinden en dik olanının açısı olarak tariflenmiştir.

Başlangıç bölgelerine ait mikrotopoğrafyanın etkisi hakkında kesin kurallar tanımlanmamıştır (Bozhinsky ve Losyev, 1998). Ancak, Gleason (1995) ve McClung



(2001) çalışmalarında boyuna kesiti konkav şekilli başlangıç bölgelerinde daha sık çığ meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Föhn ve diğerleri (2002) tarafından eğim açılarının değişimi (çığ patikası üzerinde bulunan tümsek gibi aşağı yönlü dış bükey eğrilikler) çığ oluşumunu destekleyen gerilme konsantrasyonlarına (birikmelerine) neden olduğu belirtilmiştir.

Arazinin pürüzlülüğü, sürekli zayıf kar paket tabakalarının oluşumunu engelleyerek çığ oluşumunu etkiler (Stoffel, Meister ve Schweizer, 1998). Arazi pürüzlülüğündeki büyük değişimler kar örtüsü içindeki ince tabakaların oluşumunu doğrudan etkiler. Kar örtüsünün tamamen kapatamadığı veya ince bir kar örtüsü ile kapanmış olan kayalar ince kar örtüsünün bulunduğu yerlerde yükseklik sıcaklık farklarına bağlı olarak kar kristallerinin büyümesi etkisiyle örtüde dengesizliğe neden olur (Arons ve diğerleri, 1998; Logan 1993). Orman örtüsü çığ oluşumunu engeller. Yoğun orman örtüsünde ( $> 200$  ağaç çapı  $> 16$  cm/ha) kar örtüsü çığ oluşuma imkân vermeyecek şekilde düzensizlik gösterir (Frey ve diğerleri, 1987; Gubler ve Rychetnik 1991; Schneebeli ve Meyer-Grass, 1993). Orman örtüsünün sebep olduğu bu kar örtüsündeki düzensizlik özellikle eski kar örtüsü yüzeyindeki farklılaşmaya engel olarak zayıf tabaka oluşumunu önler. Ayrıca, orman örtüsü yeni kar yağışı sırasında karın birikme oranını ve dağılımı etkiler (McClung, 2001).

### 2.3.2. Yağış (yeni kar yağışı)

Tek bir yağış ile biriken yeni kar derinliği 1 m civarında ise bu durum çok büyük çığların başlaması için kritik bir durum olarak değerlendirilir. Yeni biriken kar derinliği 30 – 50 cm aralığında ise genel olarak çığların doğal kopmalarla başlaması için kritik durum olduğu değerlendirilir. Bununla birlikte, büyük miktarda yeni kar yağışının olduğu birbirlerine yakın çığ güzergâhları grubunda karın kombine bir şekilde akma olasılığı genellikle %50'dir (Schaer, 1995). Bu durum yeni kar derinliğinin tek başına çığı açıklamakta yeterli olmadığını göstermektedir (Schweizer ve diğerleri, 2003).

Yoğun kar yağışı sırasında veya hemen akabinde doğal olarak başlayan kopmalarda, yağış oranı veya birikme oranı kar kütesinin basınç ile dayanım dengesini güçlü bir şekilde etkileyebilmektedir. Eğer yeni kar birikmesi hızlı olursa (birikmenin saatte 2,5 cm veya daha fazla olduğu durumlar) yeni biriken karın altında kalan zayıf tabaka yeterince hızlı

bir şekilde kuvvetlenemeyebilir. Bundan dolayı kar yağışından kaynaklı yüklenme oranı ile alttaki kar tabakası içinde gömülü olarak bulunan tabakanın güçlenme oranı arasında bir nevi rekabet durumu oluşur. Bu konudaki tahmin modelleri stabiliteyi etkileyen bu basit gerilme kriteri temelinde geliştirilmiştir (Conway ve Wilbour, 1999; Endo, 1991).

Conway ve Wilbour (1999) tarafından önerilen, belirli bir eğim açısına ( $\psi$ ) sahip düzlemsel yamaç üzerindeki kar kütlesinin boyuna gerilmelerin ihmal edildiği durumdaki zamana bağlı stabilite endeksi ( $S_z(t)$ ) Eş. 2.1’de verilmektedir:

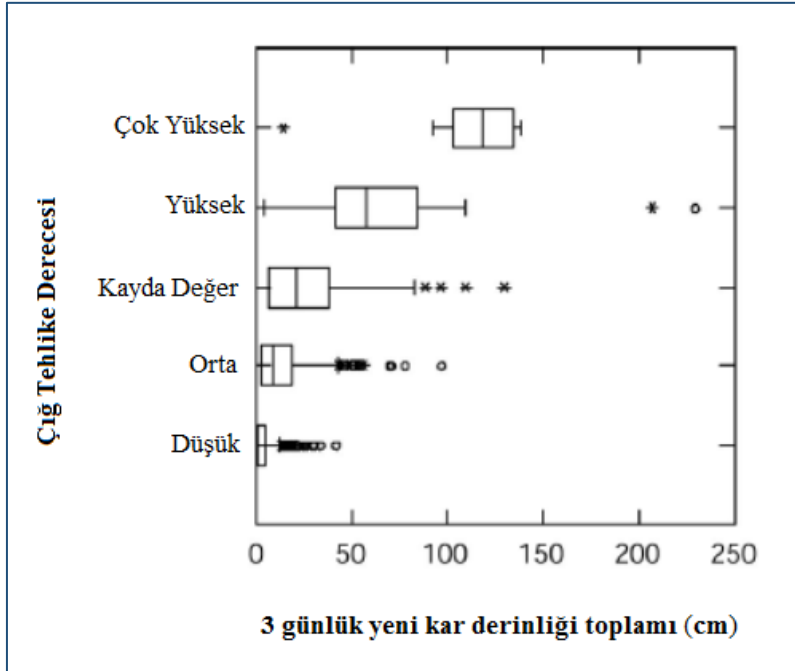
$$S_z(t) = \frac{\tau_{fz}(t)}{\tau_{xz}(t)} = \frac{A \left( \frac{\rho_{snowZ}(t)}{\rho_{ice}} \right)^2}{g \int \dot{P}_w \cos \psi \sin \psi dt} \quad (2.1)$$

Burada; z: kar derinliği, t: zaman,  $\psi$ : yamaç eğimi, g: yerçekimi ivmesi, A: bir sabit,  $\dot{P}_w$  : yükleme oranı,  $\rho$ : yoğunluk,  $\tau_{fz}(t)$  : bazal kayma gerilmesidir.

Çığa neden olan kritik yeni kar derinliği değerleri elverişsiz koşullar için 10 – 20 cm, elverişli koşullar için 30 – 50 cm aralığında değişim gösterir (Schweizer ve diğerleri, 2003).

İsviçre’nin Davos bölgesi için 1512 örneklem kullanılarak oluşturulmuş olan yeni kar derinliği ile Avrupa için beş kademede tanımlanmış çığ tehlike derecesi arasındaki ilişki Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

Şekil 2.2’deki yatay eksen 3 günlük süre zarfında yağan yeni karın toplam yüksekliğini “cm” olarak göstermektedir. Soldaki eksen ise çığ tehlike dereceleri 5 kategori olarak gösterilmektedir. Kutucuklar örneklemde kullanılan verilerin birinci çeyreğinden üçüncü çeyreğine kadar kapsamakta olup kutucuk içindeki düşey çizgiler ortanca (median) veriyi, kutucuklardan sağa ve sola olacak şekilde uzayan yatay çizgilerin uçlarındaki küçük düşey çizgiler ise çeyrekler arası aralığın üstünde ve altında bulunan çeyreğin 1.5 katına düşen gözlenen değer aralığını yıldız işaretleri gözlenen değer aralığı dışında kalan değerleri, daireler ise çok uzak değerleri göstermektedir (Schweizer ve diğerleri, 2003).



Şekil 2.2. Üç günlük yağış periyodu boyunca biriken yeni kar toplamına tekabül eden çığ tehlike dereceleri (Schweizer ve diğerleri, 2003)

Yeni karın yoğunluğu da çığ oluşumunda bir etkidir. Mueller (2001) tarafından yapılan çalışma yüzeyden itibaren derinlik boyunca azalan yoğunluğun (daha yoğun olan kar kütlesi daha az yoğunluğa sahip kar kütlesinin üzerinde olduğu durum) çığ aktivitesinin artmasıyla ilişkili olduğu ortaya konulmuştur.

### 2.3.3. Rüzgâr

Rüzgâr, özellikle yeni karın mevcut kar kütlesi üzerindeki birikmesine aktif katkısı en fazla olan faktörlerden birisidir. Rüzgâr marifetiyle taşınan karın birikmesi çok hızlı olabilir ve bu durum yerel yüklenme oranlarında artışlara sebep olacak şekilde düzensiz birikmeler oluşturabilir. Rüzgâr hızındaki ve kar süprütüsündeki değişim farklı sertlik ve yoğunluğa sahip tabakalar oluşturarak kar kütlesi içerisinde gerilmeler meydana getirir (Schweizer ve diğerleri, 2003).

De Quervain (1966), rüzgârın karı daha kırılğan hale getirdiği ve rüzgâr tarafından biriktirilmiş kar tabakalarının çığa daha meyilli olduğunu ifade etmiştir.

Meister (1985) tarafından, yeni karın yoğunluğu, hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı arasındaki ilişki çalışılmış olup bu çalışmalar sonucunda rüzgâr tarafından sertleştirilmiş kar

tabakalarının yüksek viskozitelere sahip olduğu belirtilmiştir. Buna karşın ne De Quervain ne de Meister tarafından mekanik kırılma özelliği olan gevreklik belirlenememiştir.

Gauer (1999) tarafından Davos (İsviçre) yakınlarındaki bir dağ sırtının her iki yüzündeki kar birikmesi ve kar erozyonuna rüzgâr etkisi 26 – 31 Ocak 1999 tarihleri arasında gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sahadaki kar birikmeleri ve erozyonuna ait desenin özellikle yerel rüzgâra sahip eğimli bölgelerde oldukça düzensiz olduğu görülmüştür. Yerel rüzgâra sahip bölgelerde görülen hava akımı kaynaklı girdapların belli bir rüzgâr hızı ve yönü için sabit olduğu, ancak söz konusu girdapların rüzgâr hızı veya yönünün değişmesi ile değiştiği gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sahada yerel bazlı büyük farklılıklar görülmekle birlikte sahanın tamamı dikkate alındığında ortalama %20-30 civarında daha fazla bir kar birikmesinin olduğu görülmüştür. Düz alana kıyasla sırt yakınındaki yerel rüzgâra sahip bölgelerde 4 kata kadar daha fazla bir kar birikmesinin olduğu görülmüştür.

Föhn (1980) ve Meister (1989) tarafından önerilen yerel rüzgâra sahip bölgelerdeki günlük ilave kar birikmesini ifade eden deneysel formül Eş. 2.2’de verilmektedir.

$$H_{wind} = k\bar{u}^3 \quad (2.2)$$

Eşitlikte verilen  $H_{wind}$  , ilave biriken kar derinliği (m/gün),  $k$  : bir sabit ( $\text{sn}^3/\text{m}^2\text{gün}$ ),  $\bar{u}$  : kar örtüsü yüzeyinden 0,3 – 6,0 m aralığındaki günlük ortalama rüzgâr hızıdır (m/sn).

Bu formülün çıkarılmasında ölçülen günlük ortalama rüzgâr hızları 20 m/sn veya daha küçük olup,  $k = 8 \times 10^{-5} \text{ sn}^3/\text{m}^2\text{gün}$ ’dür.

#### 2.3.4. Sıcaklık

Sıcaklık, çığ oluşumuna bilhassa karın birikmesi (yığılması) durumları dışında karar verici olarak katkıda bulunan önemli bir faktördür. Hava sıcaklığındaki değişim kar stabilitesini farklı yollarla etkilediğinden sıcaklığın kar stabilitesine etkisi karmaşık bir husustur. Sıcaklığın değişim oranı önemlidir. Kar yağışı sırasında sıcaklığın artması ve kar yağışının hemen akabinde hızlı sıcaklık artışı kar kütlesinin dengesizliğine katkıda bulunur. Hava sıcaklığındaki değişimler düşük termal iletkenlikten dolayı alttaki zayıf tabakalara göre

öncelikle kar kütlesinin yüzeyindeki tabakaları etkiler (Sturm ve diğerleri, 1997).

Karın dayanımı artan kar sıcaklığı ile düşmesine rağmen hızlı ısınma sonrası kar kütlesinde meydana gelen dengesizlik, kar kütlesinin altlarında bulunan zayıf tabakanın zayıflamasından değil katmanlar içerisinde ve katmanlar ile zayıf tabaka ara yüzünde gerilmelere yol açan yüzeye yakın tabakalardaki artan deformasyonlardan kaynaklanır. (Schweizer ve diğerleri, 2003).

Karın mekanik özellikleri sıcaklığa yüksek oranda bağlıdır (McClung, 1996).

McClung ve Schweizer (1999) tarafından sıcaklığın karın sertliği, kırılma dayanımı ve kayma gerilmesi üzerine etkisi tekrar etüt edilmiştir. Genel olarak sıcaklığa, sıcaklık değişimine ve diğer kar özelliklerine bağlı *metamorfizm etki grubu* ile başkalaşım etkileri hariç kar sertliği, kırık yayılma potansiyeli (dayanıklılık) ve mukavemeti içeren *mekanik özellikler etki grubu* olmak üzere bu hususta iki önemli rakip etki grubu vardır. Metamorfizm etki grubu, kar stabilitesini etkilemek için daha fazla bir zamana ihtiyaç duyarken mekanik özellikleri içeren etki grubu ise kar stabilitesini hızlı bir şekilde değiştirir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Kar sıcaklığının, kar kütlesinin stabilitesine etkisi (Schweizer ve diğerleri, 2003).

| Kar Kütlesinin Özelliği veya Süreç     | Isınma Kaynaklı Değişim                                                                                  | Tepki Zamanı | Stabilite Üzerine Etkisi |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|
| Kar tabakasının sertliği               | Önemli azalma                                                                                            | Anında       | Azalma                   |
| Dayanıklılık                           | Artma                                                                                                    | Anında       | Azalma                   |
| Zayıf tabaka / arayüz mukavemeti       | Az azalma                                                                                                | Anında       | Azalma                   |
| Bağ oluşumu (Metamorfizm)              | Bağ oluşumu ve mukavemette artma                                                                         | Gecikmeli    | Artma                    |
| Sünme                                  | Oturma ve yoğunlaşmaya sebep olacak şekilde sünme oranında artma (böylece mukavemet ile sertlikte artma) | Gecikmeli    | Artma                    |
| Kar sıcaklığı (sıcaklık değişim oranı) | Genellikle sıcaklık değişiminin azalması kristal formun değişmesine ve mukavemetin artmasına sebep olur  | Gecikmeli    | Artma                    |

### 2.3.5. Kar stratigrafisi

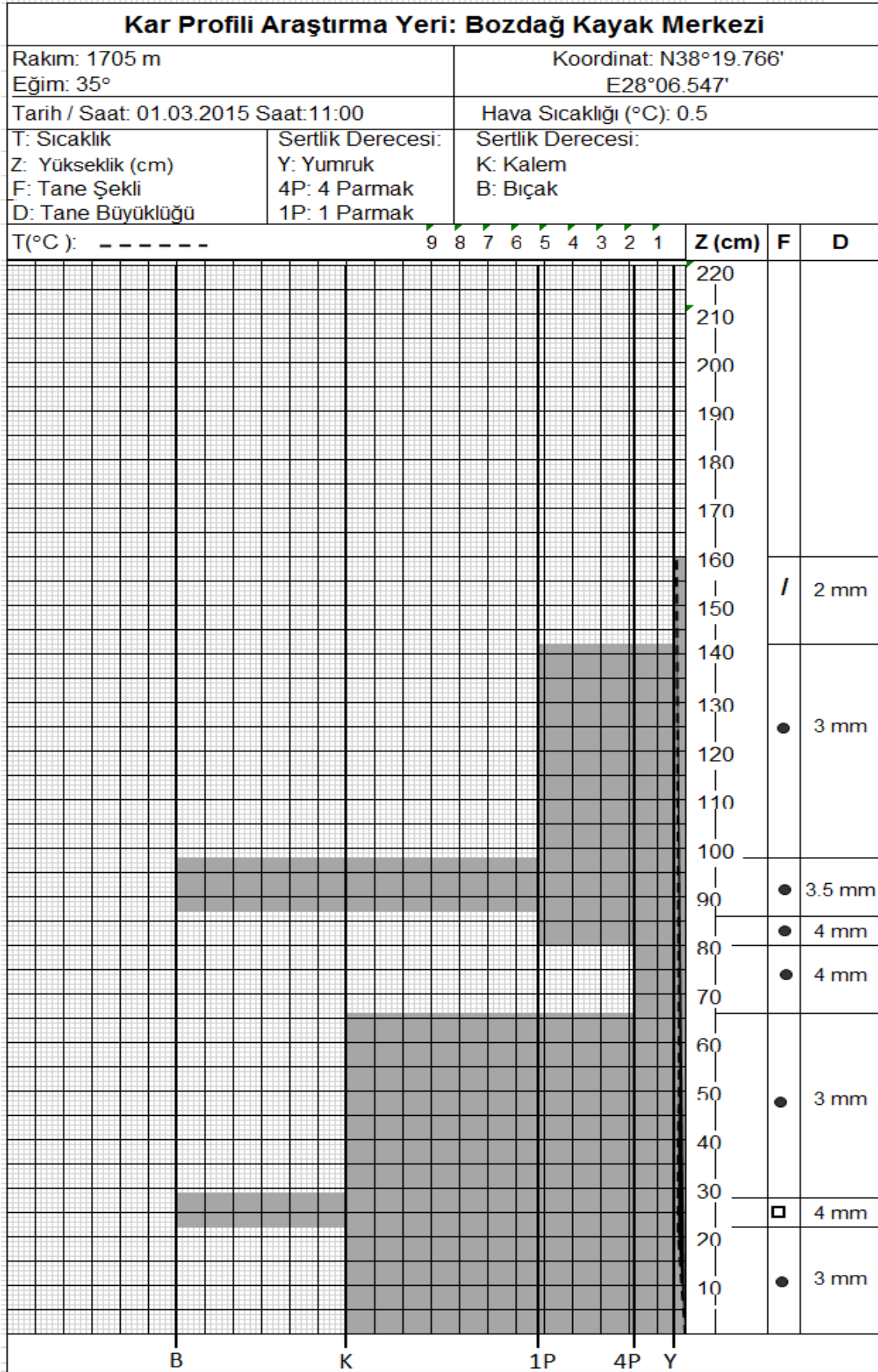
Kar tabakasının stratigrafisi kuru kar tabakası ığlarının oluşumunda kilit bir etken faktördür. Eğer mevcut kar kütlesi içinde veya yeni kar kütlesinin altında kalan eski kar kütlesinin yüzeyinde bir zayıflık yok ise yeni yağan karın, rüzgâr tarafından taşınan karın veya herhangi bir sıcaklık artışının kar kütlesinin stabilitesi üzerine bir etkisi yoktur. Dolayısıyla zayıf bir tabakanın veya ara yüzün mevcudiyeti çığ oluşumu için ön koşul olmakla birlikte tek başına yeterli bir durum da değildir.

ığ oluşumunda kar tabakalarının özellikleri de, bilhassa kırılma hattının yayılımında, göz önünde bulundurulmalıdır (McClung ve Schweizer, 1999; Schweizer, 1993; Schweizer ve diğerleri, 1998).

Arazide kar örtüsü üzerinde kar profili açılarak kar örtüsündeki tabakalar, tabakaların kalınlıkları, sertlikleri, nem içeriği, yoğunluğu ve kristal tipleri ile kar sıcaklıkları tespit edilir. Arazi alışması ile kar profilinden elde edilen bu veriler kullanılarak o noktaya ait kar stratigrafisi oluşturulur. Kar stratigrafisinde, verilerin elde edildiği profile ait lokasyon adı, rakım, tarih ve saat, koordinat, hava sıcaklığı gibi bilgiler ile birlikte kar kütlesine ait, tabaka kalınlıkları, sertlik değerleri, katman sıcaklıkları, dane şekli ve boyut bilgilerine ait veriler bulunur. Tez kapsamında çalışılan Bozdağ pilot sahasından elde edilen kar stratigrafisine ait bir örnek şekil 2.3'te, bu stratigrafi oluşturulurken kullanılan kar profiline ait Resim 2.6'da verilmektedir.



Resim 2.6. Bozdağ kuzey cephede kar profili için yapılan çalışmaya ait bir fotoğraf



Şekil 2.3. Bozdağ kuzey cephede yer alan kayak merkezi üst kotlarındaki bir nokta için elde edilen kar stratigrafisi

## 2.4. Çığ İle İlgili Bilinmesi Gereken Önemli Kavramlar

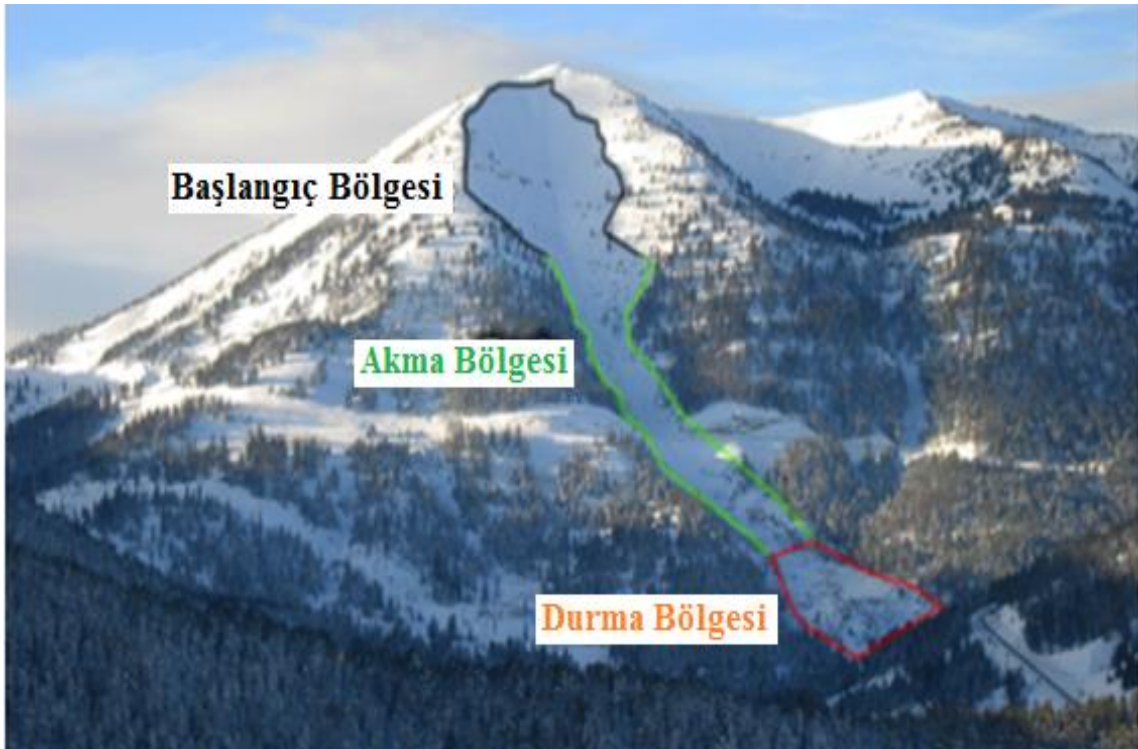
Bu alt bölümde çığ olayı ile ilgili olarak bilinmesi gereken bazı önemli kavramlar ana hatlarıyla konu ile ilgili kavramsal bir çerçeve çizebilmek üzere ele alınmıştır.

### 2.4.1. Çığ patikası

Çığ patikası ya da bir başka ifade ile çığ güzergâhı özetle çığın başladığı bölgeden durduğu bölgeye kadar olan sahayı kapsayan ve çığın aktığı tüm alana verilen ad olarak tarif edilebilir.

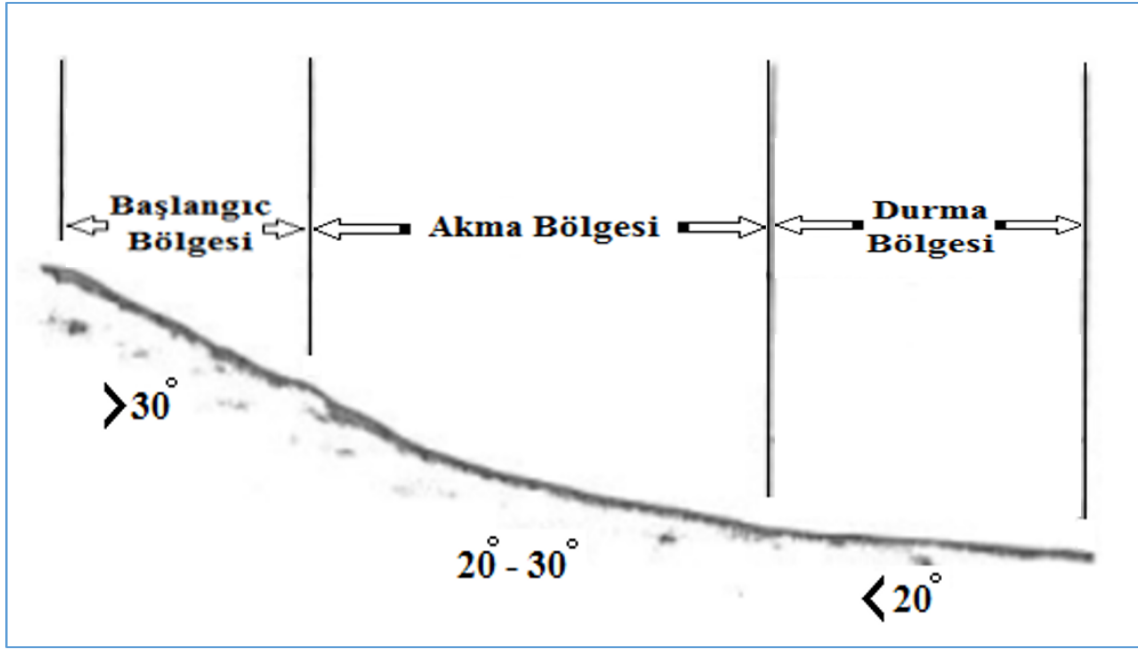
Çığ patikaları genellikle ayrılabilir dinamiklerine göre değerlendirildiğinde başlangıç (hızlanma), akma ve durma bölgesi olmak üzere üç kısma bölünür (Pudasaini ve Hutter, 2007: 77, 78).

Resim 2.7’de çığ patikasına ait başlangıç, akma ve durma bölgesi gösterilmektedir. Yine Şekil 2.4’te ise boy kesit olarak verilen çığ patikası üzerinde çığ patikasına ait başlangıç, akma ve durma bölgeleri belirtilmiştir.



Resim 2.7. Çığ patikasının bölümleri (URL7: <http://www.webcitation.org/736nGe2VG>)





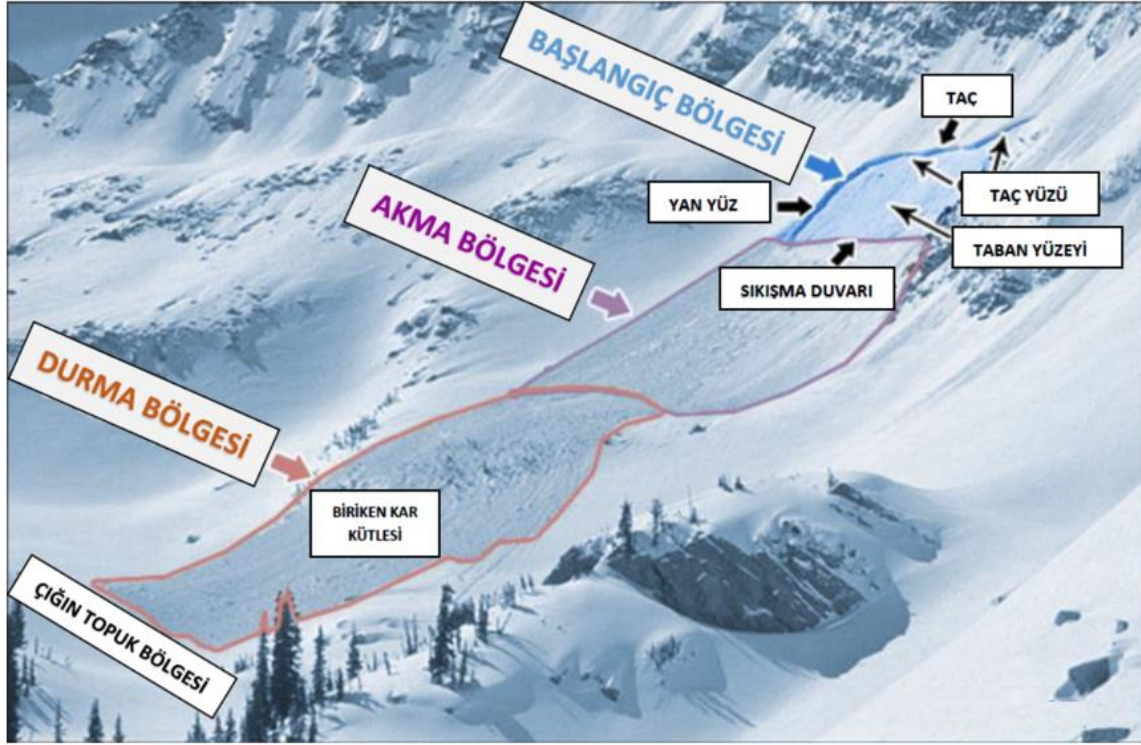
Şekil 2.4. Çığ patikasına ait bir boy kesit örneği (Oremus, 2006)

#### Başlangıç bölgesi

Hızlanma bölgesi olarak da ifade edilebilen başlangıç bölgesi genellikle tüm çığ patikasının en dik kısmında yer alır. Bu bölge kar kütesinin koparak çığın başladığı aşağı doğru hızlanarak aktığı akarken de kütesine çevreden çoğunlukla kar olmak üzere malzeme kattığı bölgedir. Başlangıç bölgesinde kırılarak kopan kütle miktarı ve şeklini tahmin eden güvenilir bir model bulunmamaktadır (Pudasaini ve Hutter, 2007: 77, 78).

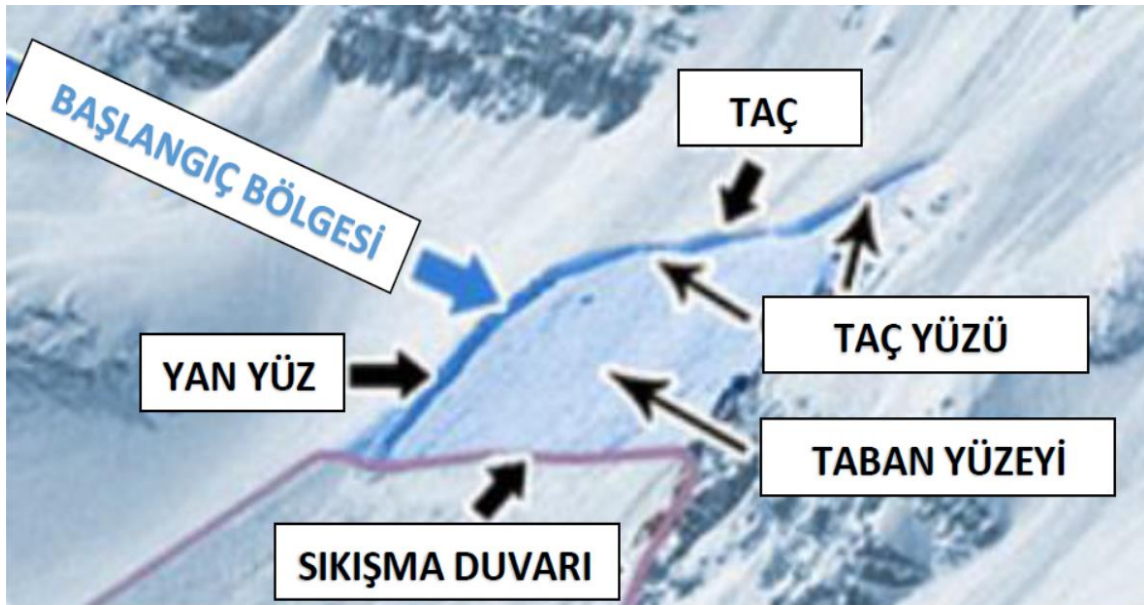
Bu bölge, çığı başlatma potansiyeline sahip dengesiz (ya da bir başka ifade ile kritik dengeye haiz) kar kütesinin doğal veya yapay herhangi bir nedenle harekete geçtiği bölgedir.

Bu bölgedeki kar kütesinin ilk hareketi o kısımdaki karın yapısı, topografya, meteorolojik koşullar ve/veya tetiklenme nedeni ile bir noktadan (gevşek kar çığları) veya bir hat boyunca (tabaka çığları) olabilir.



Resim 2.8. Tabaka çığına ait patikanın detaylandırılmış bölümleri (URL8: <http://www.webcitation.org/733hcGwWP>)

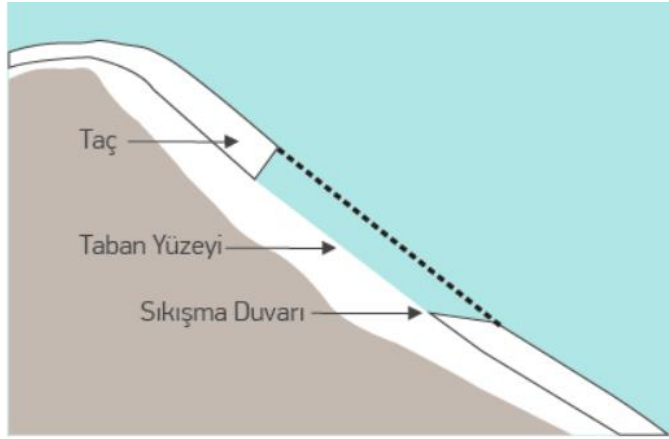
Örnek olarak verilen Resim 2.8’de de gösterildiği üzere tabaka çığlarına ait başlangıç bölgesi kendi içerisinde bazı bölümlere ayrılmaktadır. Taç, taç yüzü, yamaç, sıkışma duvarı ve taban yüzeyi olarak ifade edilen bu bölümler Resim 2.9’da gösterilmektedir.



Resim 2.9. Tabaka çığına ait başlama bölgesi (URL9: <http://www.webcitation.org/733hcGwWP>)

Resim 2.9’da gösterildiği üzere çığın başladığı en yüksek kısım taç (crown) olarak adlandırılmakta olup, bir hat boyunca kırılarak başlayan tabaka çığlarında kırılma hattının iç yüzü taç yüzü (crown face) olarak ifade edilir. Başlangıç bölgesine ait sağ ve soldaki yan yüzler yamaç (flank), başlangıç bölgesinin tabanı taban yüzeyi (bed surface), başlangıç bölgesini sınırlayan alt hat ise sıkışma duvarı (stauchwall) olarak ifade edilir.

Şekil 2.5’te ise, başlangıç bölgesi için Resim 2.8 ve Resim 2.9’da gösterilen ve önceki paragrafta tanımlanan taç, taban yüzeyi ve sıkışma duvarı profil formunda gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Başlangıç bölgesindeki taç, taban yüzeyi ve sıkışma duvarı (AFAD, 2015: 41)

Başlangıç bölgesinden koparak harekete geçen kar kütlesi bazı durumlarda sıkışma duvarının üzerinden aşarak hareketini sürdürürken kimi zaman önünde bulunan kar örtüsünü toprak zemine kadar hatta bazı durumlarda zeminden dahi malzeme kazıyıp kendi kütlesine dâhil ederek hareket edebilir.

Genel olarak çığ patikasının başlangıç bölgesi  $30 - 45^\circ$  eğime sahip topoğrafyada bulunur (Pudasaini ve Hutter, 2007: 78).

### Akma bölgesi

Başlangıç bölgesini akma bölgesi olarak tarif edilen kısım takip eder. Bu bölge başlangıç bölgesine göre patikanın daha az dikliğe sahip bölgesi olup burada çığ hızı aşağı yukarı sabittir. Hareketlerini uzun mesafeler için devam ettirebilecek bir momentuma sahip

olmayan küçük ölçekli çığlar bu kısımda durmaya başlar. Bu bölgenin ortalama eğimi 20 – 30 ° arasındadır (Pudasaini ve Hutter, 2007: 78).

Bu bölge patikanın başlangıç bölgesi ile durma bölgesi arasındaki geçiş bölgesidir. Akma bölgesi etrafı bitki örtüsü veya arazi tarafından sınırlandırılmamış açık düzlemsel yamaç şeklinde olabileceği gibi topoğrafyaya bağlı olarak V veya U şekilli vadiler şeklinde de olabilmektedir. Yine, akma bölgesi planda düz bir hat takip edebildiği gibi kıvrımlı bir hatta da sahip olabilmektedir.

Harekete geçen kar kütlesinin ince (yüzeysel) veya kalın (derin) olmasına göre, akma alanının geniş veya dar olmasına göre, güzergâhının kısa veya uzun olmasına göre pek çok kar çığı çeşidi mevcuttur. Yüzeysel kar çığlarında kar kütlesinin yüzeyindeki birkaç cm kalınlığındaki kar tabakası ince bir film katmanı gibi akarken, kalın kar çığlarında ise bütün kış biriken kar kütlesi çığ güzergâhı boyunca aşağıya doğru akabilmektedir. Güzergâhı kısa olan çığlar genel olarak metrelerle ifade edilebilecek mertebede küçük mesafeler kat ederken, uzun güzergâha sahip çığlar birkaç kilometre mesafe alabilmektedir. Küçük ölçekli çığlar 1,4 m/s'lere varan mertebelerde küçük hızlara sahip olabilirken ultra hızlı çığlar olarak ta ifade edilebilen bazı kar çığları yaklaşık 140 m/s hızlara sahip olabilmektedir (Pudasaini ve Hutter, 2007: 76).

### Durma bölgesi

Çığ, akma bölgesini geçtikten sonra akan kütlenin güzergâhtaki boğazın tabanına çarpmasıyla aniden veya güzergâhtaki düz veya boyuna eğimin akma bölgesine göre tedrici olarak azaldığı bölgeye girmesiyle yavaşça hareketin sonlandığı durma bölgesine ulaşır. Bu bölgenin ortalama eğimi 20 ° 'nin altındadır (Pudasaini ve Hutter, 2007: 78).

Çığ patikasının durma bölgesi olarak adlandırılan bu son bölüm çığ hareketinin sonlandığı ve akarken kendi bünyesine katarak beraberinde getirdiği kar, kaya, ağaç dalı, gövdesi ve kökleri gibi malzemenin biriktiği bir bölümdür.

Durma bölgesi çığın aktığı patıkaya ait vadinin sonlarında ve daha düşük kotlarda yer alan düz veya düze yakın eğimli kısım, çığ patikasını topografik olarak karşılayan başka bir

yamaç veya çığ patikasının sonunda yer alan geniş bir düzlük olabilir.

#### 2.4.2. Yinelenme periyodu

Bir çığın yinelenme periyodu (tekerrür periyodu), aynı çığın yeniden meydana gelme sıklığının (frekansı) büyüklüğü ile ters orantılıdır. Çok dik eğime sahip yamaç arazilerde çok fazla kar birikmemektedir. Bundan dolayı bu tip yamaç arazilerde oldukça sık çığ oluşmasına karşın söz konusu çığların büyüklükleri nispeten daha küçük olmaktadır. Çok dik olmayan yamaç arazilerinde ise karın birikmesi ve depolanması dik eğime sahip yamaç arazilerine göre daha kolaydır. Bu nedenle bu tip yamaç arazilerindeki olası çığlar 100 yılda 2 veya 3 defa meydana gelmektedir. Eldeki mevcut kayıtlara göre bilinen en büyük çığlar 500 yılda bir meydana gelen çığlardır. Dolayısıyla çığların yinelenme periyotları 1, 10, 30, 50, 100, 250 ve 500 yıl olarak bahsedilmektedir (Mears, 1992).

Arazideki çığ tehlikesinin sınırları, çığın büyüklüğü (durma mesafesi, basıncı gibi) ve çığın frekansı niceliklerinin birlikte değerlendirilmesi ile belirlenebilmektedir. Çığın yinelenme periyodu olarak da tanımlanan frekans, çığ tehlike haritalarının hazırlanması için önemlidir.

Deprem, sel, fırtına gibi diğer doğal afetlerin aksine, çığların büyüklüğü ile ilgili düzenli kayıtlara nadiren rastlanmaktadır. Bunun bir nedeni, belirli bir çığ hattında çığın büyüklüğünü tanımlayabilecek ve pratik olarak ölçülebilen tek bir niceliğin bulunmamasıdır. Buna rağmen, tasarım amaçları için (çığ tehlike haritaları, çığ bölgelerinin belirlenmesi) iki nicelik arasında genel bir ilişki kurulabilmesi amacıyla en azından birkaç çığ bölgesindeki kısıtlı verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Mears (1992) çığa ait kayıtların bulunmadığı durumlarda arazideki bitki örtüsündeki değişimlerden, orman örtüsü tahribatı gibi doğal kanıtlardan faydalanılmak üzere dendrokronolojik yöntemlerin kullanılmasını önermiştir.

McClung (2000) çığ tehlike bölgelerinin derecelendirilmesi açısından durma mesafesi ve yinelenme periyodunun tanımlanması ilk ve en önemli adım olduğunu vurgulamıştır. Salm(1993) gibi araştırmacılar, Voellmy (1955)'nin önerdiği deterministik yaklaşımında

kullanılan sürtünme parametrelerini yineleme periyodu ile birlikte değerlendirerek başlangıç bölgesinde kırılma derinlikleri ile ilişkilendirmiştir. Fakat Bovis ve Mears (1976) ve Lied ve Bakkehoi (1980) gibi araştırmacılar 50-300 yıl içerisinde meydana gelmiş çığ verilerini kullanarak tamamen yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Buna istatistiksel bir çalışma ile çığ durma mesafelerinin bölgesel olarak arazinin topoğrafik parametrelerine bağlı belirlenebileceğini göstermişlerdir.

Föhn ve Meister (1981), bir çığ örneği yardımıyla, doğrudan çığ kayıtları ve dolaylı olarak klimatolojik kar verilerinin 30, 50 ve 100 yıllık yineleme periyotları için durma mesafesi tahmininde nasıl birleştirilerek kullanılabileceğini göstermiştir.

#### 2.4.3. Sürtünme parametreleri

Çığ tehlike haritalarındaki farklı tehlike alanlarının sınırlarını belirlemek için çığ dinamiği ile ilgili kriterler kullanılmaktadır. Bu kriterler, çalışılan bölge için çığ hızı ve durma mesafesidir. Voellmy tarafından 1955 yılında kendi adıyla anılan çığ dinamiği teorisi ortaya atılmış olup bu teori çığ tehlike haritalarının oluşturulmasında yaygın olarak kullanım imkânı bulmuştur. 1962 yılından itibaren Voellmy tarafından önerilen eşitlikler SLF tarafından çığ basıncı ve durma mesafesi hesaplarında kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca Salm (1978) tarafından durma mesafesi hesabında kullanılmak üzere bir başka eşitlik geliştirilmiştir. Voellmy ve Salm tarafından önerilen eşitliklerin her ikisi de, biri Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) ve diğeri türbülanslı sürtünme katsayısı( $\xi$ ) olmak üzere iki tip sürtünme katsayısını içermektedir (Buser ve Frutiger, 1980).

Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) esasen kar kütlelerinin özelliklerine bağlıdır. Oysa türbülanslı sürtünme katsayısı ( $\xi$ ) arazi geometrisine bağlıdır. Eğer arazi pürüzlülüğü büyük değilse  $\xi$  parametresi çığ hızı ile artar ki böylelikle en nihayetinde geriye sadece kuru sürtünme direnci kalır (Salm, 1993).

Voellmy tarafından 1955 yılında kendi adıyla anılan çığ dinamiği teorisi ortaya atılana kadar çığ hareketine etkisi hakkında çok fazla bir bilgi sahibi olunmayan Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı ( $\mu$ ), Voellmy (1955) tarafından kar yoğunluğu ile ilişkilendirilerek;

$$\mu = \frac{\rho}{2000(\text{kg/m}^3)} \quad (2.3)$$

Eşitliği ile ifade edilmiştir. Burada  $\mu$  : coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı ve  $\rho$  :  $\text{kg/m}^3$  olarak akan karın yoğunluğudur.

Voellmy (1955) tarafından çığ akımının, açık kanal hidroliğine benzeştirilerek, türbülanslı sürtünme katsayısı ( $\xi$ )  $400 \text{ m/s}^2$  ile  $600 \text{ m/s}^2$  değer aralığında ve yaklaşık  $500 \text{ m/s}^2$  civarında olduğu belirtilmiştir.

SLF tarafından 6 – 8 Kasım 1972 tarihlerinde Davos'ta çığ bölgelerinin tayinine yönelik verilen kursta, Sommerhalder tarafından çığ patikalarının akma bölgeleri için Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı  $\mu = 0.15$ , durma bölgeleri için  $\mu = 0.20$  olarak alınmış olmasına karşın hem akma hem de durma bölgeleri için türbülanslı sürtünme katsayısı ( $\xi$ )  $500 \text{ m/s}^2$  olarak alınmıştır (Buser ve Frutiger, 1980).

Salm'ın "Grundlagen des Lawinenverbaus" isimli yayınında, kar kütlelerinin yapısı ve alttaki zeminin durumuna bağlı olarak Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısının ( $\mu$ )  $0.15 - 0.50$  aralığında, türbülanslı sürtünme katsayısının da ( $\xi$ )  $400 - 600 \text{ m/s}^2$  aralığında bir değer olarak alınabileceği ifade edilmiştir (Buser ve Frutiger, 1980).

Schaerer (1975), Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısının ( $\mu$ ) çığ hızına bağlı olduğu kabulü ile  $10 - 50 \text{ m/s}$  arasındaki hıza sahip çıgılar için aşağıda verilen Eş. 2.4'ü önermiştir;

$$\mu = \frac{5}{u} \quad (2.4)$$

Burada  $\mu$  : Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı ve  $u$  :  $\text{m/s}$  cinsinden çığ hızıdır.

Schaerer (1975), eski çığ birikintileri gibi yoğun ve derin kar kütlelerinin çalışıldığı çıgılarda türbülanslı sürtünme katsayısının ( $\xi$ )  $1000 - 1800 \text{ m/s}^2$  aralığında seçilmesi gerektiğini belirtmiştir (Buser ve Frutiger, 1980).

Leaf ve Martinelli (1977) tarafından Rocky Dağlarındaki çığlar üzerine Voellmy eşitliği kullanılarak yapılan çalışmalar sırasında kullandıkları sürtünme parametreleri Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Leaf ve Martinelli (1977) tarafından kullanılan sürtünme parametreleri (Buser ve Frutiger 1980).

| Çığın Adı    | $\mu$ | $\xi$ |
|--------------|-------|-------|
| Ironton Park | 0.153 | 1400  |
| Battle Ship  | 0.139 | 1800  |
| Gordon Gulch | 0.180 | 1800  |
| Dam Slide    | 0.166 | 1200  |
| Ortalama     | 0.160 | 1550  |

B. Salm, A. Burkard ve H. U. Gubler tarafından 1990 yılında “*Berechnung Von Fließlawinen Eine Anleitung Fuer Praktiker Mit Beispielen*” adı ile yayınlanan ve uygulamacılar için çığ akımlarının hesaplarının örneklerle anlatıldığı kılavuzda sürtünme parametreleri için aşağıda verilen Çizelge 2.3’teki değerler önerilmiştir.

Çizelge 2.3. Çeşitli koşullardaki türbülanslı sürtünme ve Coulomb tipi kuru sürtünme katsayıları (Salm, Burkard ve Gubler 1990).

| $\xi$ (m/sn <sup>2</sup> ) | Koşullar (Çığın Büyüklüğünden Bağımsız)                                                                                                                                                       |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| > 1000                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- çok soğuk kuru kar</li> <li>- sadece orta derecede kanallaşmış çığlar</li> <li>- düşük yatak pürüzlülüğü</li> </ul>                                  |
| 1000                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- düşük yatak pürüzlülüğü</li> <li>- serbest veya sadece orta derecede kanallaşmış (çığ akımının genişliğinin derinliğine oranı &gt; 10:1 )</li> </ul> |



Çizelge 2.3. (devam) Çeşitli koşullardaki türbülanslı sürtünme ve Coulomb tipi kuru sürtünme katsayıları (Salm, Burkard ve Gubler 1990).

| $\xi$ (m/sn <sup>2</sup> ) | Koşullar (Çığın Büyüklüğünden Bağımsız)                                                                                                                            |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 500 - 600                  | - büyük yatak pürüzlülüğü (metre mertebesinde)<br>- kanallaşmış akım (çığ akımının genişliğinin derinliğine oranı 1:1 den 1:2 ye olduğu durumlar )                 |
| 400                        | - orman örtüsü içinden geçen çığ                                                                                                                                   |
| $\mu$                      | Koşullar                                                                                                                                                           |
| 0,155                      | - çok büyük çığlar (çığ hacminin $10^6$ m <sup>3</sup> ten büyük olduğu nadir görülen çığlar)<br>- yüksek kotlar, kuru soğuk kar<br>- Çığ akım derinliği > 1 – 2 m |
| 0,200                      | - Daha yüksek sıcaklıklarda ve daha düşük kotlardaki kuru kar için bir üst hücrede verilen koşullar                                                                |
| 0,200 – 0,300              | - Düşük ortalama yinelenme periyoduna sahip ve hacmi $10^4$ m <sup>3</sup> ten küçük olan çığlar<br>- Çığ akım derinliği 1 – 2 m<br>- Kar tipinden bağımsız        |
| 0,300                      | - Tüm büyüklüklerdeki ıslak kar çığları                                                                                                                            |

#### 2.4.4. Kar yoğunluğu

Kuru karın yoğunluğunun, buzun yoğunluğuna (917 kg/m<sup>3</sup>) oranı o kar kütlesi için içerdiği buzun hacimsel oranını verir. Bu oran 1'den çıkarıldığında ise “*ortalama gözeneklilik*” olarak ta isimlendirilen kar kütlesinin içerdiği hava oranı bulunmuş olur. Yeni yağmış (taze) kar için dahi çok düşük bir değer olan yaklaşık 30 kg/m<sup>3</sup> mertebesindeki bir kar yoğunluğu dikkate alındığında söz konusu kar kütlesi için gözeneklilik oranı yaklaşık %97 (%3 buz, %97 hava)'dir. 600 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip ıslak bir kar kütlesi için ise gözeneklilik oranı yaklaşık %35'dir (McClung ve Schaerer, 2006: 75).

Kar tabakasının yoğunluğu artarken buna paralel karın sertliği de artar. Sertlik esasen sıkışmaya karşı gösterilen mukavemetin ölçüsüdür ve birimi “N/m<sup>2</sup>” veya “Pa”dır. Sertlik, yoğunluğa göre mukavemetle daha yakın ilişkili olduğundan çığ ile ilgili çalışmalarda yoğunluğa nazaran sertliğin kullanımı daha faydalıdır (McClung ve Schaerer, 2006: 75).

Ölçümler genel olarak, kırılma (kopma) düzleminin yoğunluğunun kayan kar tabakasının ortalama yoğunluğundan daha fazla olduğunu göstermiştir. Kırılma düzlemi her zaman kayan kar tabakasının altında yer aldığından bu durum beklenen bir durumdur. Çünkü yoğunluk Alplerdeki kar kütlelerinde genellikle derinlikle birlikte artış gösterir. Bu husus, yamaçtaki kar kütlesi için yapılan stabilite çalışmalarında kar yoğunluğun güvenilir bir dayanım (mukavemet) göstergesi olmadığını ortaya koymaktadır. Kar yoğunluğu derinlikle birlikte artış gösterebilir ancak kar kütlelerinin mukavemeti derinlikle birlikte artış ta azalış ta gösterebilir (McClung ve Schaerer, 2006: 92).

Yeni (taze) yağmış karın yoğunluğu 30 kg/m<sup>3</sup> (sakin ve fırtınasız hava koşullarında yağın kuru kar) ile 300 kg/m<sup>3</sup> (rüzgâr tarafından yığılmış kar, kürtün) aralığında değişir. Konuma bağlı olarak kuru kar için ortalama kar yoğunluğu 50 kg/m<sup>3</sup> – 100 kg/m<sup>3</sup> aralığındadır. Islak karlar için kar yoğunlukları 200 kg/m<sup>3</sup> mertebesinde başlayarak artar. (McClung ve Schaerer, 2006: 200).

Çizelge 2.4’te farklı kar yoğunluklarına göre tabaka oluşum durumları, Çizelge 2.5’te ise kar kütlelerinin yapısına göre kar yoğunluklarının olabileceği değerler gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. Kar yoğunlukları ve sınıflandırması (McClung ve Schaerer, 2006: 75).

| Yoğunluk Mertebesi | Değer Aralığı              | Açıklama                           |
|--------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Çok Düşük          | 10 - 30 kg/m <sup>3</sup>  | Gevşek kar çığı beklenir           |
| Düşük              | 30 - 60 kg/m <sup>3</sup>  | Gevşek kar; Tabaka oluşumu olası   |
| Orta               | 60 - 250 kg/m <sup>3</sup> | Tabaka oluşumu için ideal yoğunluk |
| Yüksek             | > 250 kg/m <sup>3</sup>    | Tabaka oluşumu olası               |

Çizelge 2.5. Kar kütlesinin yoğunlukları (Voellmy, 1955).

| Kar Kütlesinin Yapısı                                          | Yoğunluk Aralığı            |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Gevşek yeni kar                                                | 30 - 100 kg/m <sup>3</sup>  |
| Biraz yerleşmiş (oturmuş), rüzgâr tarafından sıkıştırılmış kar | 50 - 300 kg/m <sup>3</sup>  |
| Kuru, granüler, yerleşmiş (oturmuş) eski kar                   | 200 - 450 kg/m <sup>3</sup> |
| Islak, yerleşmiş (oturmuş) eski kar                            | 400 - 600 kg/m <sup>3</sup> |
| Çok sıkışmış (adeta taşlaşmış) kar                             | 500 - 800 kg/m <sup>3</sup> |

## 2.5. Çığın Mekanîği

Esasen çığ mekaniği, fizikçiler, matematikçiler ve hidro-mekanikçiler gibi farklı meslek disiplinlerindeki pek çok uzman – araştırmacı tarafından epey zamandır üzerinde çalışılan ve başlı başına çok büyük bir alanı ihtiva eden geniş bir konu olup bir tez kapsamında verilen bir bölümün alt başlığına sıkıştırılarak anlatılması mümkün olmayan bir konudur. Ancak çığ ile ilgili temel kavramsal bilgilerin verilmeye çalışıldığı bu bölümde çığ mekaniğinden bahsedilmemesi de büyük bir eksiklik olarak ortaya çıkacaktır. Bu nedenle çığ potansiyeline haiz kar kütlesine etkiyen kuvvetler ve çığ mekaniği hakkındaki temel bilgiler kavramsal çerçeve çizebilmek adına belirli kabuller dâhilinde bu kısımda anlatılacaktır.

Granüler malzemeler, boşlukları sıvı veya gaz ile dolu çok sayıda müstakil katı parçacıkların toplanmasından meydana gelir. Bu tip malzemeler katı, sıvı ve gazlardan farklı davranış gösterirler. Örneğin tozlar daha çok katı gibi birikirken sıvı gibi akarlar. Bu tarz etkiler esasen granüler malzemelerin sahip olduğu hibrit hal de denilebilen sıvı ile katı arası formdan kaynaklanır. Kar, kaya veya toz çığları, moloz veya piroklastik akıntılar, kumul tepelerin oluşumu jeofizik bağlamda granüler akımlara örnektir (Pudasaini ve Hutter, 2007: 47).

Bir çığ hangi hızla, ne kadar mesafeye (menzili), ne kadar yıkıcı bir güç ile nasıl hareket eder soruları ile bunlara benzer soruların cevapları çığ dinamiği konusunun içeriğidir. Çığ dinamiği, geçen yüzyılın ortalarına kadar iyi seviyede gelişim gösterememiş bir bilim dalıdır. Bunun bir nedeni gerçekleşmiş çığlar ile ilgili hızlar, dinamik ve çarpma basınçları, geometrik deformasyonlar ile çığın gerçekleştiği sahalara ait karmaşık topografik özelliklerine ait ölçümlerinin yetersizliği olabilir. Çığın hızı, durma mesafesi ve bununla ilgili çarpma kuvvetleri tahminine yönelik ilk tahmin metotları yerel çığ bölgelerinden elde edilmiş olan tarihi ve deneysel veriler kullanılmak suretiyle 1950’li yıllarda İsviçre’de geliştirilmiştir (Pudasaini ve Hutter, 2007: 47).

### 2.5.1. Voellmy tarafından gerçekleştirilen öncü çalışmalar

Çığ dinamiği ile ilgili teorik analizinin ilk olarak A. Voellmy (Swiss Institute of Materials Testing) tarafından 1955 yılında yapıldığı uluslararası geçerli bir kabuldür. Voellmy, 1954 yılının Ocak ayında Avusturya Vorarlberg’te gerçekleşen ve büyük bir felakete yol açan çığ olayı akabinde gerçekleştirdiği (1955) söz konusu çalışmasını İsviçre İnşaat Mühendisliği Dergisi’nde “Çığların Yıkıcı Gücü Hakkında” başlığı altında toplamda 20 sayfalık ardışık dört makale olarak yayınlamıştır (Pudasaini ve Hutter, 2007: 102).

İlk makalede yıkılan, kırılan ve devrilen yapılar ile tren istasyonu ve tamamlayıcı yapılardaki etki dikkate alınarak geri analiz yapılmış ve bu analiz sonucunda çığın türü ve oluşturduğu basınçların büyüklüğü tahmin edilmiştir.

“Çığların Dinamiği Hakkında” adıyla 5 sayfa olarak yayınlanan ikinci makalede, yarım sayfa olarak kullanılan model eşitlikleri türetilmiş, geri kalanında ise çığ içerisindeki akımın, kar kütlelerinin parçalı yapısı nedeniyle türbülanslı olmak zorunda olduğuna dair açıklamalar yapılmıştır. Söz konusu türbülanslı akımın da  $\tau_s \sim \rho v^2 / \xi$  olarak ifade edilen akım direnciyle birlikte gerçekleştiği belirtilmiştir. Burada  $\tau_s$  : akım direnci,  $\rho$  : akan kar kütlelerinin yoğunluğu,  $v$  : çığın hızı ve  $\xi$  : içsel sürtünme katsayısıdır (Pudasaini ve Hutter, 2007: 102, 103).

Aynı makalede, sabit bir eğime sahip yüzeyden aşağı doğru kayan h yüksekliğindeki bir kar tabakasının tabanda bir sürtünme direnci meydana getirdiği, kayan yüzey alanı ile

orantılı olan bu sürtünme direncinin, türbülanslı hareket durumunda ortalama kayma hızı ve kar tabakasının yoğunluğu ile de orantılı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sürtünme katsayısı  $\mu$  hakkında çok az bilgi bulunduğu, sürtünme açısının genellikle  $30^\circ - 40^\circ$  civarında olduğu, çoğu çığın bu aralığa sahip eğimlerde gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Yine bu makalede, Newton'nun ikinci hareket yasası olan “Kuvvet = kütle x ivme” eşitliği kayan kar kütlesi üzerine tatbik edilmiş ve

$$g(\rho - \rho_L)h \sin \zeta - g(\rho - \rho_L)h \cos \zeta \mu - \frac{\rho g}{\xi} v^2 = \rho h \frac{dv}{dt} \quad (2.5)$$

eşitliği elde edilmiştir. Burada  $g$  : yerçekimi ivmesini,  $\rho$  ve  $\rho_L$  sırasıyla kar ve hava yoğunluğunu,  $h$  : kayan kar kütlesi derinliğini,  $\zeta$  : arazi eğimini,  $v$  ise kayan kütlenin ortalama hızını ifade etmektedir.

Bazı kabuller dahilinde Eşitlik-2.5'ten faydalanılarak aşağıda gösterilen maksimum çığ hızını veren Eşitlik-2.6 ile çığın durma mesafesini veren Eşitlik-2.7 türetilmiştir.

$$v_{\max} = \sqrt{\xi h \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho}\right) (\sin \zeta - \mu \cos \zeta)} \quad (2.6)$$

$$S = \frac{\xi h}{g} \ln \cosh\left(\frac{v_{\max}}{\xi h / g} t\right) \quad (2.7)$$

Voellmy tarafından yayınlanan 3. makalede, çığların meydana getirdiği basınçlar üzerinde durulmuştur. Bunun için sıkışabilir sıvılardaki Bernoulli Eşitliği temel olarak alınmıştır. Çığın durma mesafesinin bulunmasında ve durma bölgesindeki basınçların tahmininde enerji konuları göz önünde bulundurulmuştur.

4. makalede ise türetilen formüller özetlenmiş ve bu formüllerin gerçek durumlara uygulanabilirliği gösterilmiştir.

### 2.5.2. Granüler ıların mekanik teorisi (S-H Model)

Savage ve Hutter tarafından (1989) eğimli bir yüzeyden aşağı doğru kayan granüler malzemeden müteşekkil bir kütlenin geometrisinin değişimini ve hızın dağılımını niteleyebilen sürekli ortamlar mekaniğı teorisi geliştirilmiştir. Söz konusu teori kısaca “SH Teorisi” veya “SH Modeli” olarak ta ifade edilmektedir.

Deney sonuçları değerlendirildiğinde, bu modelin bu konudaki daha önce önerilen modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Derinlik ortalamalı bu hidrolik model araştırmacılar tarafından karmaşık bulunmasına karşın uygulamacılar arasında ise geniş kullanım alanı bulmuştur. Uygulamacılar tarafından yaygın olarak kullanılmasının bir nedeni söz konusu modelin anlaşılmasının kolay olması ve kar ıları, kaya düşmeleri ve moloz akmaları gibi büyük ölçekli doğal olaylar için kolaylıkla uygulanabilmesidir. Modelin çok önemli bir başka özelliğı de fiziksel akıl yürütmeye ve titiz matematiksel temellere dayanmasıdır. Bu modelin en basit formu ölçekten bağımsız olup granüler malzemenin hareketi ile ilgilenen diğer mühendislik alanlarında da kullanılmaktadır. Söz konusu model, akma güzergâhı için yazılan matematiksel ifadeleri basitleştirmek üzere gerçek durumu çok fazla etkilemeyen bazı kabuller içermektedir (Pudasaini ve Hutter, 2007: 115, 116).

S-H Modeli için geçerli kabuller;

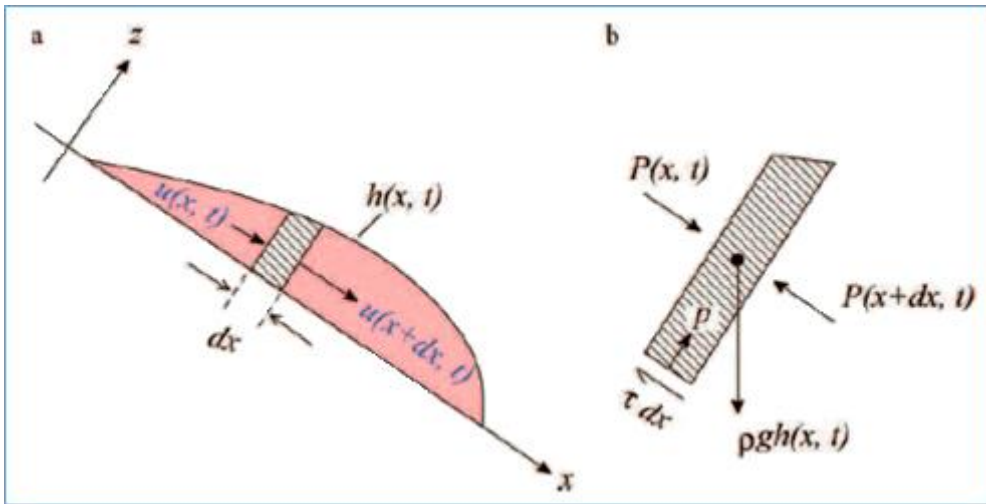
- Akan ıın hacmi korunmaktadır.
- ıı oluşturan kütle kohezyonsuzdur ve Mohr-Cloumb kriterine uymaktadır.
- Güzergâh boyunca görülen ana akım yönündeki gerilmeye kıyasla yanal kayma gerilmeleri ihmal edilebilir seviyededir.
- Akan kar kütlesi ısısal anlamda yalıtılmış olup termal etkiler ihmal edilmektedir.
- Akan kütlenin genişliğine oranla derinliğı az olacağından sığ bir akım kabulü yapılmaktadır.
- Matematiksel ifadelerde bir kesit için kar derinliğı ve hızların ortalamaları kullanılmıştır.
- Güzergâh boyunca boyuna eğimin sabit olduğu kabul edilmiştir.
- Bünye denklemlerindeki fiziksel olarak önemli terimler ölçek analizi sonucunda

belirlenmiş olup, ölçek analizi sonucu önemsiz olarak ifade edilenler denklemlere dâhil edilmemiştir.

### SH Modeli

SH Modeline ait bünye denklemleri türetilirken yukarıda belirtilen kabuller de dikkate alınacak şekilde malzemenin mukavemet yaklaşımı benimsenmiştir. Bunun için granüler malzemeden oluşan sonlu miktardaki bir kütlenin belli bir eğim açısına sahip düzlemsel bir yüzey üzerindeki akış hareketi fiziksel model olarak dikkate alınmış olup bu hareket için akan kütlenin ve momentumun korunduğu kabulü ile hareketi tariflemek üzere matematiksel ifadeler elde edilmiştir.

Şekil 2.6’da SH Modelinin bünye denklemleri elde edilirken kullanılan fiziksel model verilmektedir. Burada verilen x-z koordinat sistemindeki x-ekseni kayma düzlemine paralel akış aşağı yönü, z-ekseni ise kayma düzlemine dik yukarı yönü ifade etmektedir.



Şekil 2.6. Granüler malzemeden müteşekkil sınırlı miktardaki bir kütlenin eğik bir yüzey üzerindeki düzlemsel akışı (Pudasaini ve Hutter, 2007: 117).

Şekil 2.6’da gösterilen kütle içinde  $dx$  kalınlığında bir eleman dikkate alınsın. Yoğunluk ( $\rho$ ) ve x yönündeki hız ( $u(x,t)$ ) sabit olarak kabul edilmiştir. Seçilen elemanın kütlesinin değişimi;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h(x,t))dx = \rho h(x,t)u(x,t) - \rho h(x+dx,t)u(x+dx,t)$$

$$= -\frac{\partial}{\partial x}(\rho h(x,t)u(x,t))dx + O((dx)^2) \quad (2.8)$$

Eşitliği ile ifade edilir.

Bu eşitliğin sağ tarafın Taylor Serisinin açılımı kullanılmıştır. Yoğunluk ( $\rho$ ) sabit olarak alındığından bu eşitlik aşağıda verilen şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} = 0 \quad (2.9)$$

Seçilen eleman için x yönündeki momentum “ $\rho h u dx$ ” olup;

- X-yönündeki momentumun zamansal değişimi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h(x,t)u(x,t))dx \quad (2.10)$$

- Seçilen elemanın yüzeylerinden geçen x yönündeki momentum akısı:

$$\begin{aligned} & \rho h(x,t)u^2(x,t) - \rho h(x+dx,t)u^2(x+dx,t) \\ &= -\frac{\partial}{\partial x}(\rho h(x,t)u^2(x,t))dx + O((dx)^2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

- Elemana etkiyen kuvvetler:

$$(i) = \rho g h \sin \zeta dx \quad (\text{yerçekimi bileşeni})$$

$$(ii) = -\tau dx \quad (\text{taban sürtünmesi})$$

$$(iii) = \int_0^{h(x,t)} p_L(x,z,t)dz - \int_0^{h(x+dx,t)} p_L(x+dx,z,t)dz \quad (\text{derinlik boyunca basınç})$$

Elemana etkiyen kuvvetlerden (iii) ile ifade edilen terim z yönündeki kuvvet dengesi dikkate alındığında hidrostatik basınç dağılımını verir.

$$p(x,z,t) = \rho g (h(x,t) - z) \cos \zeta \quad (2.12)$$



Bu ifade eğik düzleme dik yöndeki basınç olarak da isimlendirilebilir. Bu basınç ifadesi zemin mekaniğinde yaygın olarak kullanıldığı gibi

$$p_L(x, z, t) = K_{act/pas} \rho(x, z, t) \quad (2.13)$$

olarak düzenlenebilir.

Burada  $K_{act/pas}$  boyutsuz aktif / pasif toprak basınç katsayısıdır. Bu katsayı hızın konuma bağlı değişim durumuna göre aşağıda verilmektedir.

$$K_{act/pas} = \begin{cases} K_{act}, & \text{if } \partial u / \partial x > 0, \\ K_{pas}, & \text{if } \partial u / \partial x < 0, \end{cases} \quad (2.14)$$

SH Modeline ait bünye denklemleri türetilmesi ile ilgili detay bilgiler, Pudasaini ve Hutter tarafından yazılan “Avalanche Dynamics” adlı kitabın 117-122 sayfalarında verilen “The SH-Model, Reduced to its Essentials” kısmından elde edilebilir.

Sonuç olarak yukarıda belirtilen kabuller doğrultusunda türetilen SH-Modeline ait bünye denklemleri korumalı ve korumasız durumlar için aşağıda verilmektedir.

Korumalı (conservative);

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2) = (\sin \zeta - \operatorname{sgn}(u) \tan \delta \cos \zeta)h - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\varepsilon}{2} K_{act/pas} h^2 \cos \zeta \right)$$

Korumasız (non-conservative);

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = (\sin \zeta - \operatorname{sgn}(u) \tan \delta \cos \zeta) - \varepsilon \cos \zeta K_{act/pas} \frac{\partial h}{\partial x}$$

Burada; h: yüzeye dik kar derinliğini, t: zamanı, u: akım yönündeki hızı,  $\zeta$  : eğim açısını,  $\delta$  : yatak sürtünme açısını ifade etmektedir.

Eşitliklerde kullanılan  $\varepsilon$  ise kısaca en-boy oranıdır. Bu oran

$$\varepsilon = \frac{H}{L} \ll 1$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada H: çığ derinliğini, L: çığın güzergâhı boyunca kat ettiği mesafedir.

### 3. ÇIĞ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Giriş

Bu bölümde çığ ile ilgili bugüne değin gerek ülkemizde gerekse dünyada yapılan çalışmalara ait gerçekleştirilen literatür çalışması özet olarak verilmektedir.

Çığ ile ilgili model çalışmaları dinamik ve istatistiksel olmak üzere esasen iki ana grup olarak ifade edilebilir. Dinamik modeller 1950’li yıllardan bu yana kullanılmakta olup, teknolojik (bilgisayar, CBS vb.) gelişim ile birlikte söz konusu modeller de gelişim kaydetmiştir. İstatistiksel modeller ise 1980’li yıllarda Norveç Geoteknik Enstitüsü (NGI) tarafından yapılan çalışmalarla başlamıştır. İstatistiksel modeller, gerçekleşmiş yerel çığ olaylarından türetildiklerinden dinamik modellere göre daha yalın ve uygulanması daha kolaydır. İstatistiksel bir modelin belirli bir çığ güzergâhına uygulanabilmesi için o güzergâha ait çok sayıda gerçek veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, çığ güzergâhları için istatistiksel modellerin ihtiyaç duyduğu veri setlerini elde etmek çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle dinamik modellerin kullanımı ve geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir.

Bu bölümde, arazide gerçekleştirilmiş önemli çalışmalar, yaygın kullanımı ile öne çıkan *Voellmy-Salm*, *AVAL-1D*, *RAMMS* ve *SamosAT* dinamik modelleri, Alfa – Beta istatistiksel modeli ve ülkemizde yapılan çığ modeli uygulama çalışmaları özet olarak verilmiştir.

#### 3.2. Arazide Gerçekleştirilmiş Çalışmalar

Kar ve çığ ile ilgili bilimsel çalışmalar Avrupa’da çok eski yıllara dayanmaktadır. İnsanların dağlık alanları, geçit veya yaşam alanı olarak kullanmaları ile birlikte çığ felaketinin yıkıcı etkileri de artmıştır. Avrupa’da ilk çığ araştırma laboratuvarı 1935 yılında Davos’ta kurulmuştur. Ram (çarpma) testi için kullanılan aletler, kayma test aparatları ve kardaki hava miktarının tespiti için kullanılan aletlerin ilk tasarımları 1936 yılında bu araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Resim 3.1’de penetrasyon için kullanılan aletlerin ilk örnekleri verilmiştir. 2000’li yıllara kadar penetrasyon için kullanılan aletler benzer yapıya sahip iken günümüzde malzeme, elektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişim kar

katmanlarındaki özellikleri çok daha hızlı ve hassas ölçümler yapma noktasına getirmiştir. Bu konudaki gelişmeler halen devam etmektedir.



Resim 3.1. Ram (çarpma) etkisi ile penetrometre ölçümü yapan aletlerin 1939 yılında yapılan ilk örnekleri (URL10: <http://www.webcitation.org/73BraLSWt>)

1930’lu yıllardan bugüne çığ araştırmaları birçok alanda yürütülmüştür. Çığa karşı koruma yapılarının tasarımı, hesapları ve etkili koruma yöntemlerinin geliştirilmesi çığ araştırmalarının ilk amacı olarak görülmektedir. Çünkü insanlar çığ afetinden kendilerini etkili yöntemler ile korumak istemişlerdir. Bu nedenle bu alanda büyük gelişimler sağlanmış, çığ başlangıç kotlarında alınan önlemlerden çığ bariyerleri, çığ durma bölgelerine yakın alanlarda çığ barajları, çığ saptırma duvarları, çığ tünelleri, iletim hatlarının korunması için yapılan özel saptırma yapıları, konutları korumak için geliştirilen özel duvarlar vb. yapılar aktif koruma tasarımları olarak literatürde yer almaktadır. Bununla birlikte literatürde patlayıcıların kullanımı ile çığ sahasının (veya kayak sahasının) güvenli hale getirilmesi, çığ riski olan yol güzergâhlarının zaman zaman kapatılması veya güvenli duruma getirildikten sonra açılması, kayak merkezlerinde olduğu gibi kar örtüsünün sıkıştırılarak kayma riskinin azaltılması gibi birçok diğer koruma yöntemleri de önerilmektedir. Çığa karşı koruma yapılarının tasarımı ve uygulamalar tez kapsamında olmadığından bu konu ile ilgili araştırma çalışmalarının detayları burada verilmemiştir. Konu ile ilgili detay bilgilere Koçyiğit (1997)’den ulaşılabilir.

Türkiye’de çığ afeti ile mücadele çalışmaları Avrupa ile karşılaştırıldığında oldukça yenidir. Özellikle 1992 yılı kış mevsiminde Türkiye’nin doğusunda meydana gelen büyük çığlar birçok insanın hayatını kaybetmesine ve büyük ekonomik zararların oluşmasına neden olmuştur. Bu çığların sonrasında mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü işbirliği ile konu üzerinde çalışmalar başlatılmıştır. Arazi çalışmaları, teknik eleman yetiştirilmesi, haritalama, kar profil ölçümlerinin ve araziden elde edilebilecek temel meteorolojik verilerin (sıcaklık, kar yüksekliği, kar-su eşdeğeri gibi) düzenli elde edilmesi için Avrupa’daki ülkelerden teknik destek alınması gibi çok amaçlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detaylı bilgiler; Gürer ve Tunçel (1995), Gürer ve Koçyiğit (1995), Gürer, Tümer, Yavaş, Erenbilge ve Koçyiğit (1996a), Gürer, Koçyiğit ve Koç (1996b), Gürer ve Koçyiğit (1997a), Gürer ve Koçyiğit’in (1997b), Gürer (2001) makale ve bildirilerinden temin edilebilir.

Yapılan literatür araştırması çalışmalarında, son yıllarda çığın istatistiksel boyutu ile ilgili araştırmalar ön plana çıkmaktadır. Özellikle durma mesafesi tespitinde farklı istatistiksel yaklaşımlar denenmiştir. Dinamik modellerle birlikte çığ analizlerinde istatistiksel modellerin kullanımı da her geçen gün artmaktadır.

Fiziksel açıdan bakıldığında çığlar, karın yerçekimi etkisi ile akması süreci olarak tanımlanabilir. Bugün, çığ hareketinin fiziksel ve matematiksel açıdan tam ve doğru olarak tanımı maalesef mevcut değildir. Bunun nedeni, kar malzemesinin çok değişken bir yapıya sahip olmasıdır (Sauermoser, Granig, Kleemayr ve Margreth, 2015).

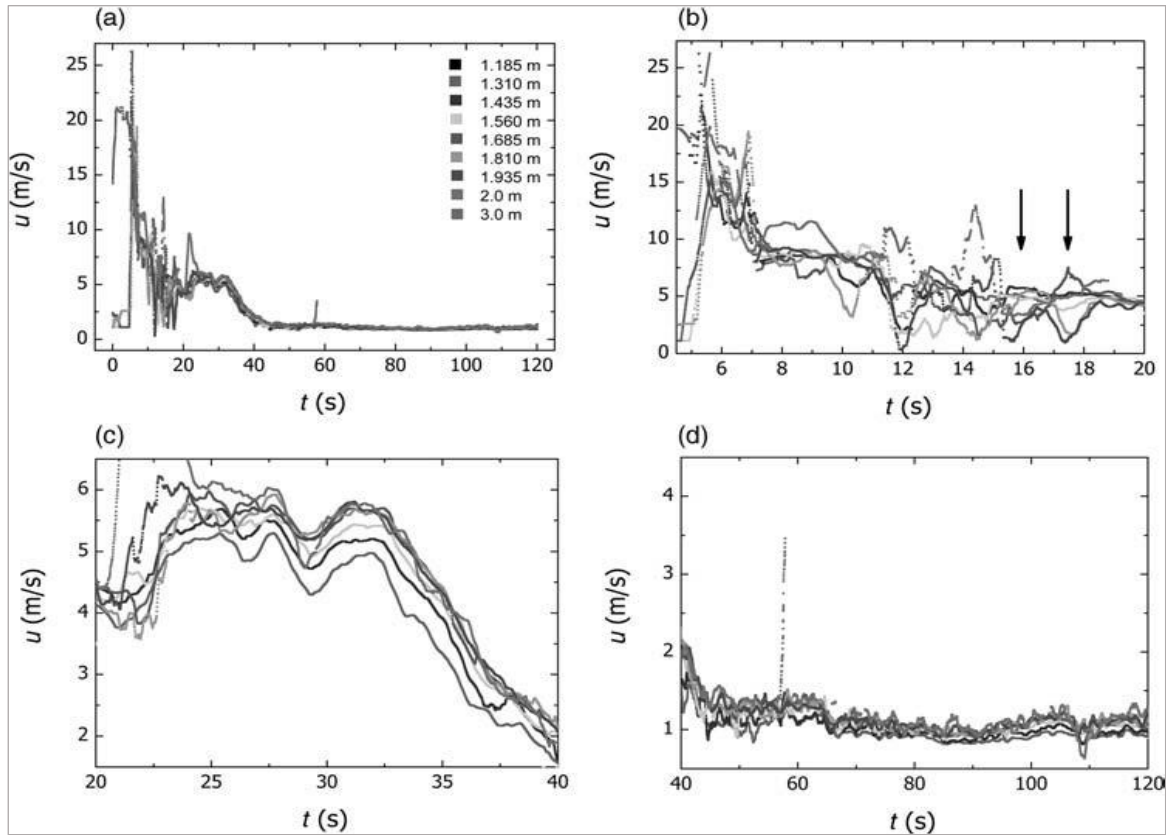
Uygulama açısından bir çığ hareketi, hız ( $v$ ), akım yüksekliği ( $h$ ) ve karın yoğunluğu özellikleri ile tanımlanabilir. Bu özelliklere ek olarak maksimum durma mesafesi ve uygulanan basınç değerleri risk analizi ile ilişkili olarak önemli özelliklerdendir. Bu ölçüm parametreleri, belirlenmiş bir uygulama alanında (Issler, Lied, Rammer, Revol, Sabot ve Sovilla, 1999; Issler, 2003) deneysel olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca çığ yüzeyi üzerinden uygulanan optik yöntemler (video analizi, alansal lazer tarayıcı) sayesinde akım yüksekliği belirlenebilmektedir (Vallet, Trunbull, Joly ve Dufour, 2004). Benzer süreç radar yardımı ile çığ ön cephesindeki hız dağılımını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Gauer, Kern, Kristensen, Lied, Rammer ve Schreiber, 2007; Rammer, Kern, Gruber ve Tiefenbacher, 2007). Çığ kütlesi içerisindeki hız ve basınç etkilerinin belirlenmesi çığ hattı üzerine yerleştirilmiş bir direk ya da engel üzerindeki noktasal ölçümlere dayanmaktadır.

(Kern, Bartelt, Sovilla ve Buser, 2009; Kern, Bartelt ve Sovilla, 2010; Sovilla, Schaer ve Rammer, 2008; Turnbull ve McElwaine, 2007).

Çığ dinamiği ile ilgili doğal ölçümler, farklı çığ tiplerini tanımlamak açısından referans değerleri sağlamaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki, arazide yapılan deneyler çığ hattı üzerindeki oldukça sınırlı ölçüm aletleri ile gerçekleştirilmektedir.

Çığ, hızı 10 m/s olan laminar akım ya da kayan bir blok gibi hareketine başlayan ve sonrasında karmaşık bir çalkantı ve sonrasında türbülanslı harekete geçiş yapan bir formdadır (Voellmy, 1955).

Zamana bağlı hız ve akım derinliği ölçümleri, temel hareket modeli ve çığın “fizyolojik” yapısı hakkında iyi bir fikir vermektedir (Kern ve diğerleri, 2009). Çığ akımı için çığın ön yüzü, büyük orta bölümü ve arkasındaki (kuyruk) hızlar farklıdır. Her bir bölümde farklı hız profilleri mevcuttur (Resim 3.2).



Resim 3.2. Vallée de la Sionne (İsviçre) ölçüm alanından alınan bir çığa ait hız zaman serileri (a):Tüm çığ boyunca;(b): çığın ön yüzü; (c): Çığın orta büyük kütlesi; (d) Çığ arkası (u: Çığın hızı, t: zaman) (Kern ve diğerleri, 2010)

Çığın ön yüzünde, akım kesitindeki en yüksek hızlar (Çizelge 3.1) gözlenir ki normal akım (eğimli araziye dik yönde kaydedilen) hız profili oldukça değişken ve karmaşık olarak Resim 3.2 (b)'de gösterilmiştir.

Çığın orta (büyük) bölümünde hız, tipik bir kayma hız profili ile karakterize edilebilir. Yani zeminden itibaren yükseklik arttıkça hızda artmaktadır. Kaymayan bir kar ile çığ arasındaki yüzeyde, taban hızı  $v \neq 0$  olan kayan bir tabakanın varlığının ölçümlerle tespiti kolay değildir.

Çizelge 3.1. Çığ hızlarının büyüklükleri (Amt der Tiroler Landesregierung/Office,1996)

| Çığ Tipi          | Hız (m/s) |
|-------------------|-----------|
| Islak akan çığlar | 10-20     |
| Kuru akan çığlar  | 20-40     |
| Toz kar çığları   | 30-70     |

Davos'ta, SLF araştırma merkezi laboratuvarlarından kar kaydırma patikasında yapılan deneylerde bazal kayma ve bazal kayma tabakasının paralel olarak yükseldiğini görülmüştür. (Tiefenbacher ve Kern, 2004).

Çığın arka (kuyruk) bölümü birçok durumda akımda kaymanın kaybolduğu ya da zayıfladığı durumla karakterize edilmektedir. Bu bölgede kar, çok ince bir kayma tabakası üzerinde blok şeklinde ya da bir kaya (zemin) üzerinde doğrudan kaymaktadır (Resim 3.2 d). Bu bölgede durumlar arası geçiş görülmektedir. Ölçülmüş hız profilleri, matematiksel model kavramları ile uyumu açısından çığ akımının dinamiğini belirleme sürecinde kullanılan sürtünme ya da enerji kayıpları ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır (Kern, Tiefenbacher ve McElwaine, 2004).

### 3.3. Çığ Model Çalışmaları

Çığ benzeşimi alanındaki gelişmeler Avrupa için çığ modellemesi, haritalaması ve uyarı sistemleri projesi (SAME) kapsamında incelenmiş ve Harbitz (1998) tarafından verilmiştir. Granig ve Margreth (2015) tarafından çığ modellerinin bir sınıflandırılması Resim 3.3'te verilmiştir. Bu çalışmada hesap modelleri istatistiksel/topografik ve fiziksel/dinamik olarak iki ana grupta incelenmiştir. Ayrıca çığ tipine göre modeller sınıflandırmaya dâhil edilmiştir.

(Naaïm and Ancey, 1992; Naaïm, 1998; Norem, Irgens ve Schieldrop, 1987; Norem, Irgens ve Schieldrop, 1989).

Resim 3.3'te verilen dinamik modellerin büyük bir bölümü Voellmy-akışkanı, Chezy sürtünme terimi ve Coulomb kuru sürtünme değerlerini dikkate alarak oluşturulmuş modellerdir.

Sonraki gelişmeler, Voellmy-Salm modeli (Salm ve diğerleri, 1990), kütle merkezi modeli olan PCM modeli (Perla, Cheng ve McClung, 1980), birçok ülkede kullanılan, bir boyutlu granüler malzeme ve sayısal çözüm modeli olan AVAL-1D (Christen, Bartelt ve Gruber, 2002), iki boyutlu benzeşim modeli ELBA (Volk ve Kleemayr, 1999; Volk, 2005) (Şu anda ELBA+ olarak sürümdedir) sıralanabilir.

ELBA+ modelinin avantajı özel olarak bir çıkış hattının tanımlanmasına gerek duymamasıdır. Çünkü model, üç boyutlu sayısal arazi yüzeyini kullanarak muhtemel çıkış hareketi oluşacak patikaları kendisi karar verebilmektedir.

Avusturya'da 1999 yılında oluşan büyük çıkışlar sonrasında üç boyutlu model SAMOS 99'un gelişimi için büyük çaba sarf edilmiştir. Model hem ıslak hem de toz çıkış hesaplarını yapabilmektedir (Sailer, Fellin, Fromm, Jörg, Rammer, Sampl ve Schaffhauser, 2008). 2008 yılından itibaren SamosAT (Oberndorfer ve Granig, 2007; Sampl, 2007) modeli kullanıma uygun hale getirilmiştir. 2010'da ek askıdaki malzeme modelini (Jörg, Sampl ve Granig, 2010) ve 2013 yılından itibaren ise SamosAT, akan kütle içerisine eklenen kar kütle miktarlarını da dikkate alır duruma gelmiştir (Granig, Fischer ve Jörg, 2013).

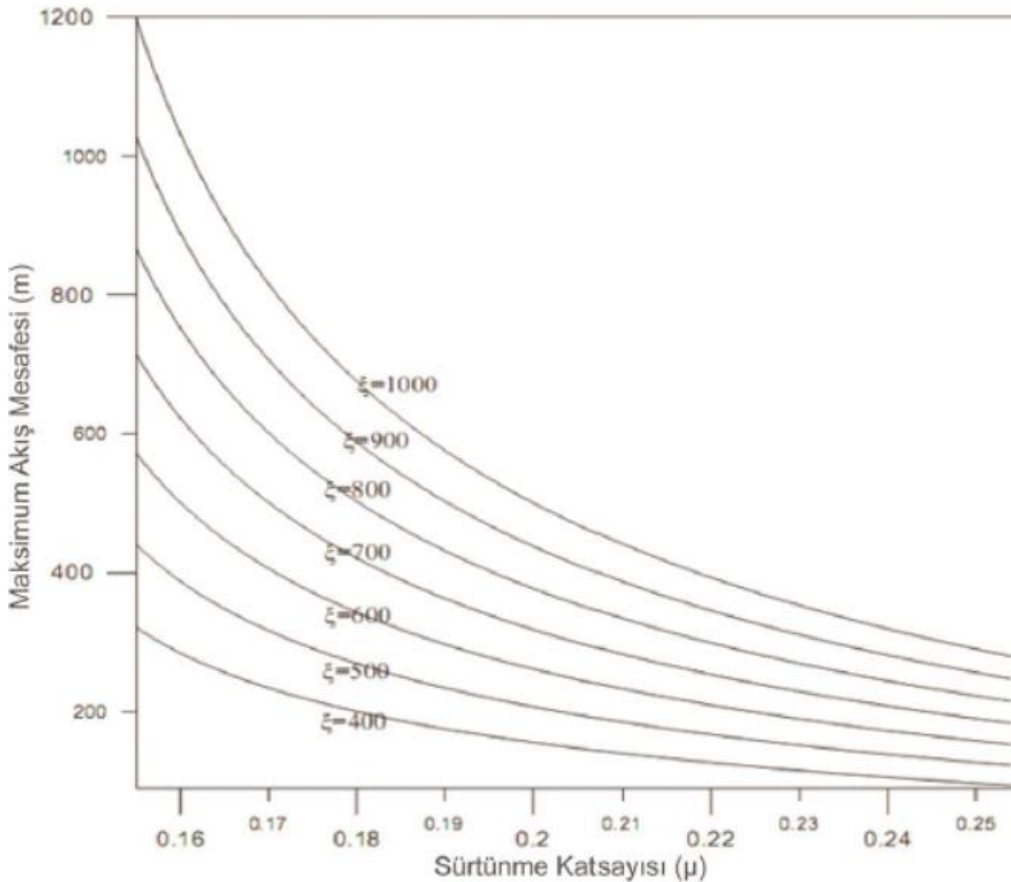
Kar ve Çıkış Araştırma Enstitüsü (Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF) tarafından İsviçre'de geliştirilen RAMMS sayısal modeli 2005 yılından itibaren kullanıma başlanmıştır. Aynı model içerisine çıkış hesaplamalarına ek olarak üç boyutlu topoğrafyada toprak kayması ve kaya düşmesi modülleri eklenmiştir.

Modeller özellikle durma mesafesi hesaplaması için sadece Avrupa'da değil diğer ülkelerde de geliştirilmektedir. Kitahara, Yoshimatsu ve Fujisawa (1991) Japonya için bir model geliştirmişlerdir. Grigorian ve Ostroumov (1977) MSU-dense isimli modeli Rusya için geliştirmişlerdir.

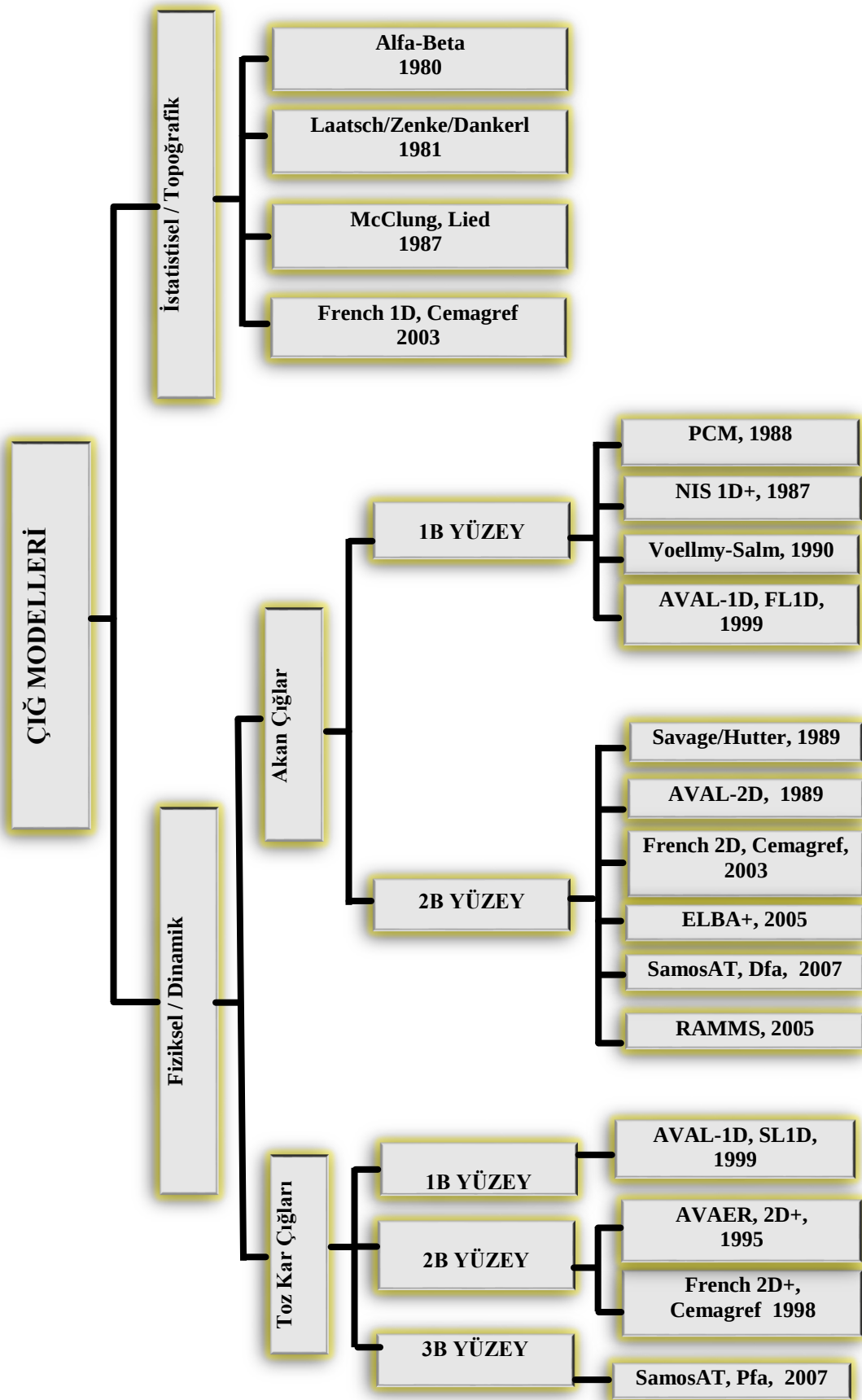


### 3.3.1. Voellmy-Salm modeli

1951 ve 1954 yıllarındaki çığ afetleri sonrası Voellmy (1955) İsviçre’de ilk modeli (Voellmy modeli olarak bilinir) geliştirmiştir. 1954 yılında Vorarlberg’te oluşan çığ olayının verdiği zararı yeniden hesaplarken ve kontrol ederken hidrolik kurallarını (Chezy sürtünmesi ve Coulomb kuru sürtünme değerlerinin kombinasyonu) kullanmıştır. Salm, Voellmy(1955)’nin dinamik modelleme konusundaki en büyük katkısının Coulomb tipi kuru sürtünme faktörü ( $\mu$ ) ve açık kanallarda kullanılan Chezy direnç katsayısına benzer, hızın karesinin bir fonksiyonu olan türbülans kaynaklı sürtünme ( $\xi$ ) faktörü olduğunu vurgulamaktadır. Bu iki terimin kombinasyonu, “Voellmy sıvısı” olarak adlandırılmış ve bu sürtünme parametreleri halen araştırma konusudur. Örneğin ülkemiz koşulları için söz konusu parametrelerin değişimleri ve etkileri Koçyiğit ve Gürer (2007) tarafından incelenmiş (Şekil 3.1) olup ülkemizdeki ölçümlerin yetersizliği bu çalışmada bir kez daha vurgulanmıştır.



Şekil 3.1. Kuru sürtünme faktörü ( $\mu$ ) ve türbülans kaynaklı sürtünme faktörü ( $\xi$ ) değerlerine göre farklı çığ güzergah uzunlukları (Koçyiğit ve Gürer, 2007)



Resim 3.3 Çığ modellerinin genel sınıflandırılması (Granig ve Margreth, 2015)

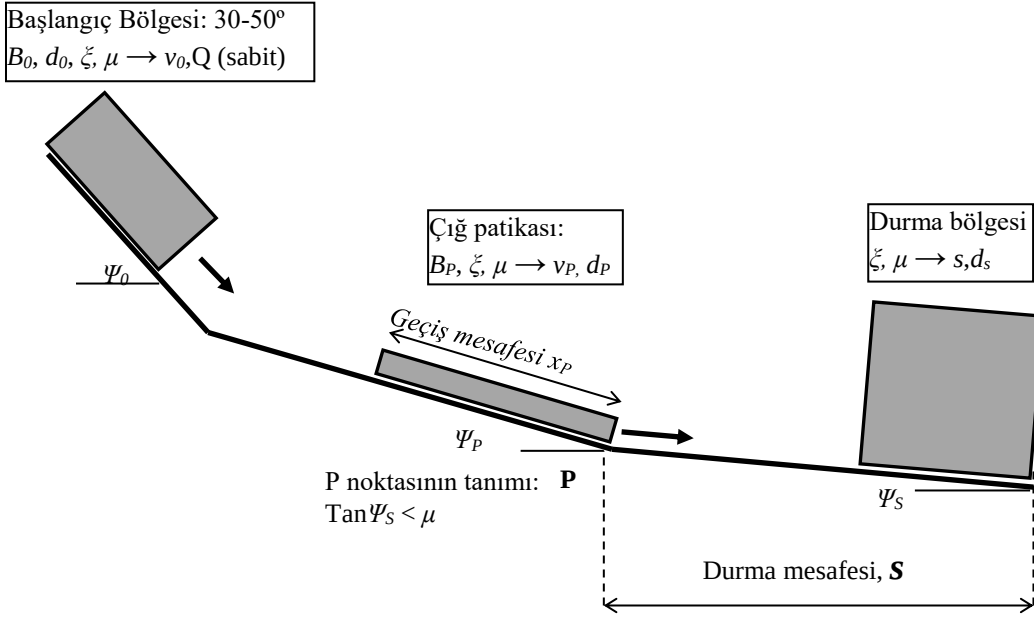
1966'da Salm, Voellmy modelini geliştirerek içsel sürtünmeyi ve aktif-pasif akım şartlarını model içerisine yerleştirmiştir. Bu dinamik modelde çığ kütlesi, kütle merkezinin dikkate alınarak basitleştirildiği bir blok model olarak tanımlanmıştır.

1990'da WSL (Davos, İsviçre) tarafından Voellmy-Salm modelinin kullanım kılavuzunun yayınlanmasıyla, model birçok pratik durum için uygulanmıştır. Söz konusu kılavuza göre, modelde kullanılan sürtünme parametrelerinin kullanım değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir. Sayısal çığ hesaplama modeli AVAL-1D'nin geliştirilmesine kadar Voellmy-Salm modeli yaygın olarak durma mesafesi ve çığ basınçlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Voellmy-Salm modelinde kullanılan sürtünme parametreleri (WSL, 1990)

| Sürtünme parametreleri |                      | Tanımlama                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mu$                  | Kuru sürtünme        | Yere dik düzlemde basınç ve kar özelliklerine bağlıdır.<br>Büyük çığlar için ( $>10^5 \text{ m}^3$ ) 1300 m'den yüksek kesimlerde ve akım derinliğinin 1- 2 m olduğu durumlarda $\mu=0.155$ önerilir. Islak kar çığları $\mu=0.3$ değeri ile hesaplanır.<br>Durma bölgesi uzunluğu $\mu$ 'ye oldukça bağlıdır. |
| $\xi$                  | Türbülanslı sürtünme | Hızın karesi ile orantılı ve çığ patikasındaki pürüzlülüğe bağlıdır.<br>Düz araziler için $\xi=1000 \text{ m/s}^2$ önerilir. Daha yoğun kanallaşma veya ormanda $\xi=400 \text{ m/s}^2$ alınır. ( $\xi$ ) parametresi hız değerine oldukça bağlıdır.                                                           |

Voellmy-Salm modelinde, durma bölgesi hariç, bir kütle noktasında yoğunlaşan hareket olduğu ve başlangıç bölgesinden kopan Q debisinin çığ hattı boyunca değişmediği kabul edilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Voellmy-Salm modelinin şematik gösterimi (Margreth, 2015)

Başlangıç bölgesinde ilk hız ( $v_0$ ),

$$v_0 = \sqrt{d_0 \cdot \xi \cdot (\sin \psi_0 - \mu \cdot \cos \psi_0)} \quad (3.1)$$

ve debi ( $Q$ ),

$$Q = B_0 \cdot d_0 \cdot v_0 \quad (3.2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Burada;

$B_0$  : Kırılma genişliği (m)

$\psi_0$  : Başlangıç bölgesi eğimi (°)

$d_0$  : Kırılma derinliği (m)

$v_0$  : Başlangıç bölgesinde çığ hızı (m/s)

$\xi, \mu$  : Sürtünme parametreleri (Çizelge 3.2)

olarak tanımlanmıştır.

Şekil 3.1’de gösterilen durma bölgesinin başlangıç noktasını temsil eden P noktasında  $v_P$  hızı ve  $d_P$  akım derinliği hesaplanır. P noktasının mansabında,  $\psi_S$  durma bölgesinin aşağıda verilen ortalama açısını sağlamalıdır:

$$\tan \psi_s < \mu \quad (3.3)$$

P noktasında arazi eğim açısı  $\psi_P$ ’ye bağlı olarak  $v_P$  hızı hesaplanır. P noktası 100-200 m civarında olduğu kabul edilen bir geçiş bölgesidir. Genişliğe ( $B_P$ ) bağlı olarak hız:

$$v_P = \left[ \frac{Q}{B_P} \cdot \xi \cdot (\sin \psi_0 - \mu \cdot \cos \psi_0) \right]^{1/3} \quad (3.4)$$

olarak hesaplanır.

Akım derinliği  $d_P$  ise süreklilik denklemi vasıtasıyla:

$$d_P = \frac{Q}{B_P \cdot v_P} \quad (3.5)$$

şeklinde bulunur.

P noktasından itibaren ölçülen durma mesafesi  $s$  değeri:

$$s = \frac{d_s \cdot \xi}{2 \cdot g} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{v_P^2}{V^2} \right] \quad (3.6)$$

formülü ile belirlenir.

Ortalama birikmiş kar derinliği

$$d_S = d_P + \frac{v_P^2}{10 \cdot g} \quad (3.7)$$

eşitliği sayesinde bulunur ve durma bölgesinde ortalama çıkış hızı da,

$$V^2 = d_S \cdot \xi \cdot (\mu \cdot \cos \psi_S - \sin \psi_S) \quad (3.8)$$

şeklinde hesaplanır.

Bu formüllerde:

- $\psi_s$  Durma bölgesinde ortalama eğim (°)  
 $g$  yerçekimi ivmesi sabit olup değeri  $9.81 \text{ m/s}^2$  olarak alınmaktadır.  
 $d_P$  Çığ patikası üzerinde P noktasında akım derinliği (m)  
 $v_P$  P noktasında çıkış hızı (m/s)  
 $V$  Çığ durma bölgesinde ortalama hız değeri (m/s) olarak tanımlanmıştır.

Voellmy-Salm modeli temel düzeydeki çığların hesabında çok hızlı ve pratik uygulamalarda oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Hesaplama sonuçları parametrelerin girilmesi ile adım adım kontrol edilebilmektedir. Fakat modelin bir dezavantajı çığ patikasında, akım hızlarını gerçek değere göre düşük tahmin etmekte ve durma bölgesinde hesaplanan birikmiş kar derinlikleri de gerçekçi olmamaktadır. Bu nedenle P noktasının yerinin tahmini oldukça önemlidir ve çığ konusunda deneyimli bir uzman tarafından yapılacak arazi çalışması ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu nedenle günümüzde bu model çok sık kullanılmamakla birlikte birçok modelin temelini oluşturmaktadır (Margreth, 2015).

### 3.3.2. AVAL-1D modeli

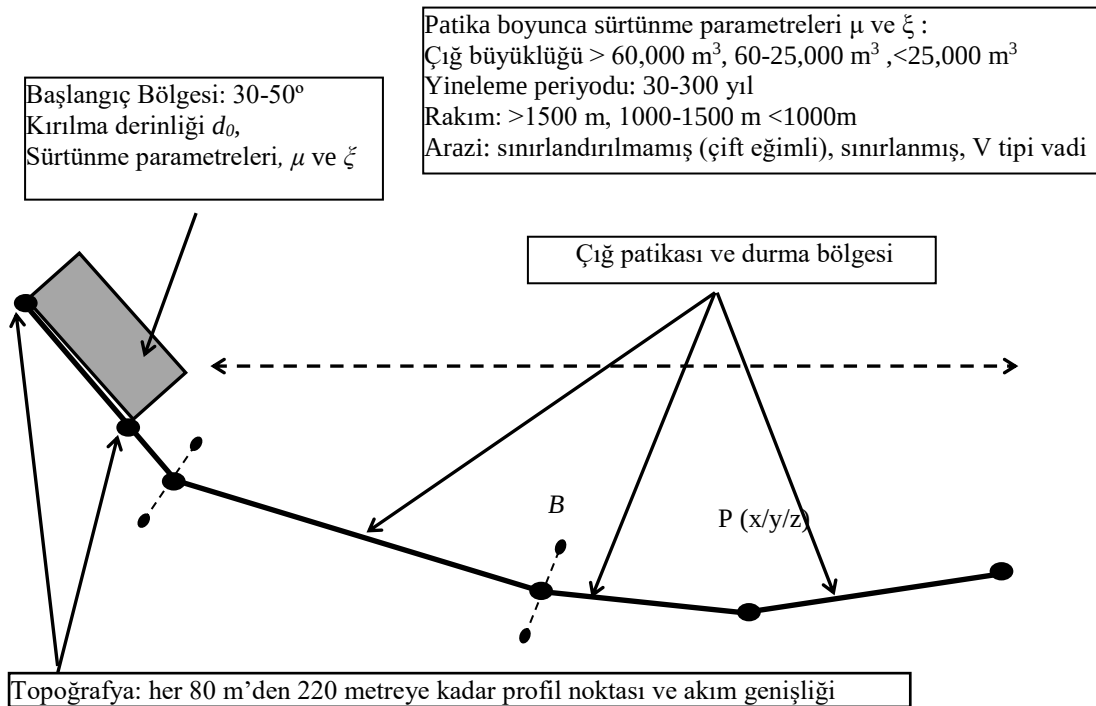
Voellmy-Salm Modelinin sayısal uyarlaması olan AVAL-1D WSL tarafından geliştirilmiş olup birçok ülkede uygulanmaktadır. Çığ kütlelerinin hesaplamalara dâhil edilerek gerçek topoğrafya üzerinde model performansının belirlenmesi büyük bir gelişim olarak kaydedilmiştir. Modelde iki bağımsız hesaplama bölümü mevcuttur. FL-1D kütle (ıslak) çığlar için SL-1D ise toz çığlar için kullanılan modüllerdir. Her iki modül de kütle, enerji ve momentum denklemlerini oluşturan diferansiyel denklemlerin sonlu farklar yöntemi ile çözümlenmesini içermektedir.

FL-1D, Voellmy akışkan malzemesi üzerinde bir boyutlu olarak çalışan bir sayısal modeldir. Modelde akan kar sabit yoğunluğa sahip “sıvı benzeri” bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Akım hızı derinlik boyunca sabit, akım yüksekliği ise kanal genişliği boyunca sabit olarak kabul edilmiştir. Modelde, düşüş esnasında kütlenin korunduğu ve muhtemel birikimlerin ihmal edildiği varsayılmıştır. Akıma karşı direnç üç parametre ile tanımlanmıştır. Bunlar; kuru sürtünme ( $\mu$ ), türbülans kaynaklı sürtünme ( $\xi$ ) ve karın içsel deformasyonlardır ( $\lambda$ ). Programda gerekli girdi verilerinin şematik gösterimi Şekil 3.3’de verilmiştir. AVAL-1D

tüm akım hattı boyunca sürekli bir şekilde akım yüksekliği, hız ve basınç değerlerini sağlamaktadır. Ayrıca durma mesafesi ve depolanan kar kütlesi miktarı da program çıktıları arasındadır.

Modelleme açısından, çığ kütlesinin durma bölgesi uzunluğu üzerinde önemli etkisi vardır. Bu durum başlangıç bölgesinde planlanacak destekleme yapılarını da etkiler. Örneğin modelde kar miktarındaki artış dikkate alınmazsa hesaplanacak birikmiş kar yüksekliği çok küçük değerlerde kalabilir. Voellmy-Salm Modeli ile karşılaştırıldığında hesaplanan hızlar daha yüksek ve böylece daha gerçekçi olmaktadır. Model merkezci etkileri dikkate almadığından özellikle yüksek menderesliliğe sahip çığ hatlarında çığ barajlarının etkileri konusunda kullanılması önerilmemektedir.

SL-1D modeli içinde toz çığlar, tabanda sürüklenen ve askıdaki katmanları içermektedir. Bu modelde kar örtüsünden (erozyon), taban ve askı katmanları arasında kütle değişimlerinin olduğu kabul edilir. Bu katmanlar arasında sürtünme kuvvetleri göz önünde tutulmalıdır. SL-1D akım yüksekliği, hız ve basınç değerlerini akım hattı boyunca hesaplamaktadır. Özellikle basınç profili çığ patikası boyunca herhangi bir noktada elde edilebilir. Erozyon ve askıda kalma parametrelerinin farklı derecelerdeki değerleri sonuçları oldukça önemli oranda değiştirmektedir.



Şekil 3.3. AVAL-1D, FL-1D için girdi parametreleri (WSL, 1999)

### 3.3.3. RAMMS modeli

İki boyutlu dinamik çığ hesaplama modeli olan RAMMS (Rapid Mass Movements) WSL tarafından geliştirilmiş bir boyutlu sayısal model AVAL 1-D'nin devamı niteliğindedir.

Bu model WSL tarafından 2005 yılında geliştirilmeye başlamış olup ticari olarak 2010 yılından itibaren kullanılmaktadır. Programda hız vektörü üç boyutlu arazi üzerinde iki yönde hesaplanmakta, ayrıca akım yönü ve çığ genişliği model tarafından belirlenmektedir. Hesaplama kullanılan çözüm ağı sayısal arazi modeli üzerinden yaratılabilmektedir.

Model çığ kütlesi içerisinde içsel deformasyonların oluşmadığı kabulü ile geliştirilmiştir. Modelde sürtünme kuvvetlerinin kayan katman ile taban arasında oluştuğu düşünülmüştür. Modelde kullanılan  $\mu$  ve  $\xi$  sürtünme değerleri, Coulomb'un kuru sürtünme ve hıza bağlı sürtünme direncinin oranlarını ifade etmektedir. İki sürtünme direnci de çığın büyüklüğüne bağlıdır. Voellmy-Salm Modelinde olduğu gibi bazal direnç Coulomb sürtünme teriminin normal kuvvetlere oranı olarak ifade edilmiş, türbülans sürtünme terimi ise hızın karesi ile orantılı olduğu varsayılmıştır. Karmaşık arazi üzerindeki sığ-su diferansiyel denklemlerini çözmek için sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır. Model CBS ile birlikte çalışma kabiliyetine sahip olup girdi parametrelerinden çığ başlama bölgesi ve sürtünme parametrelerini tahmin edebilmektedir (Christen, Bartelt, Kowalski ve Stoffel, L, 2008).

Christen Kowalski ve Bartelt, (2010), RAMMS uygulamalarını gerçek arazi üzerinde örnekleri ile sunmuşlardır. Çalışmada kullanılan modelde iki farklı akım yaklaşımı uygulanmıştır. Bunlar *Voellmy-Salm(VS)* ve *Rastgele Kinetik Enerji (RKE)* yaklaşımlarıdır. Model sonuçları iki adet gerçek çığ ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ölçümlerle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Fischer, Kowalski ve Pudasaini (2012) RAMMS programında topografyadaki eğrilik etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda hem matematiksel hem de fiziksel açıdan eğrilik etkisini dikkate alan yeni bir model önerilmiştir. Önerilen model ile sonuçlarda gelişim elde edildiğinden RAMMS programı, 1.6.20 sürümünden itibaren Fischer ve diğerleri (2012) tarafından RAMMS için özel olarak geliştirilen metot ile topoğrafyadaki eğrilik etkisini dikkate almaktadır.



RAMMS modeli, SLF'nin veri tabanında bulunan 1999 kışında meydana gelen çığlar ve çığ test sahası olarak kullanılan Vallee de la Sionne'dan (İsviçre) elde edilen veriler ile doğrulanmıştır. Giriş veri değerleri ve sonuçlar hem üç boyutlu harita üzerinde (ya da hava fotoğrafı) görüntülenebilmekte hem de bir dosyaya yazılı olarak üretilebilmektedir.

RAMMS'in çok karmaşık arazi durumunda akımın takibini belirlemek açısından oldukça kullanışlı bir araç olduğunu önceki deneyimler göstermiştir. Ayrıca Voellmy-Salm Modeli ya da AVAL-1D ile kıyaslanarak başlangıç bölgesi yerinin seçiminin ve tanımlanmasının ne kadar önemli olduğu gösterilmiştir. Hesaplamalar için arazi modelinin kalitesi (çözünürlüğü) önemlidir. Çünkü küçük dereler kış mevsiminde kar ile dolarak çığ sapmalarının belirlenmesinde yanlış yönlendirmelere neden olabilmektedir.

Tez kapsamında çalışılmak üzere seçilen pilot havza için de kullanılacak olan söz konusu model hakkında daha kapsamlı bilgiler müstakil bir bölüm halinde 4. Bölümde de ayrıca verilmektedir.

### 3.3.4. SamosAT modeli

SamosAT modeli 22 adet referans çığ verisi kullanılarak kalibre edilmiş bir modeldir. Avusturya Çığ Önleme Servisi tarafından 2007 yılından itibaren kullanılmaktadır.

Modelde Savage-Hutter modelinin revize edilmiş hali kullanılmaktadır. Aynı zamanda Voellmy yaklaşımı ile bağıntılıdır. Patika boyunca değişebilir sürtünme katsayıları kullanılmıştır.

Modelde temel olarak sıg-su denklemleri çözülmektedir. Akan çığdaki sürtünme modeli hesapları hem hıza hem de akım yüksekliğine bağlıdır. Bunun sonucunda durma bölgesinde kuvvetli bir yavaşlama ivmesi ve sonrasında yavaş bir akım gözlenmektedir. Kullanılan denklem aşağıdaki formdadır:

$$\tau^{(b)} = \tau_0 + \tan \delta \cdot \left( 1 + \frac{R_s^0}{R_s^0 + R_s} \right) \cdot \sigma^{(b)} + \frac{\bar{\rho} \cdot \bar{u}^2}{\left( \frac{1}{\kappa} \ln \frac{\bar{h}}{R} + B \right)^2} \quad (3.9)$$

Burada denklemde

|                |                                               |
|----------------|-----------------------------------------------|
| $\tau_0$       | Minimum kayma gerilmesi ( $\text{N/m}^2$ )    |
| $\tan \delta$  | Yatak sürtünme açısının tanjantı ( $^\circ$ ) |
| $R_s^0$        | Yatak sürtünme yüksekliği                     |
| $\sigma^{(b)}$ | Normal gerilme ( $\text{N/m}^2$ )             |
| $\bar{\rho}$   | Akımın ortalama yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ) |
| $\bar{u}$      | Akımın ortalama hızı ( $\text{m/s}$ )         |
| $\bar{h}$      | Akımın ortalama yüksekliği ( $\text{m}$ )     |
| $B$            | Boyutsuz katsayı (Prandl sınır tabakası)      |
| $\kappa$       | Von-Karman katsayısı                          |
| $R_s$          | Pürüzlülük katsayısıdır.                      |

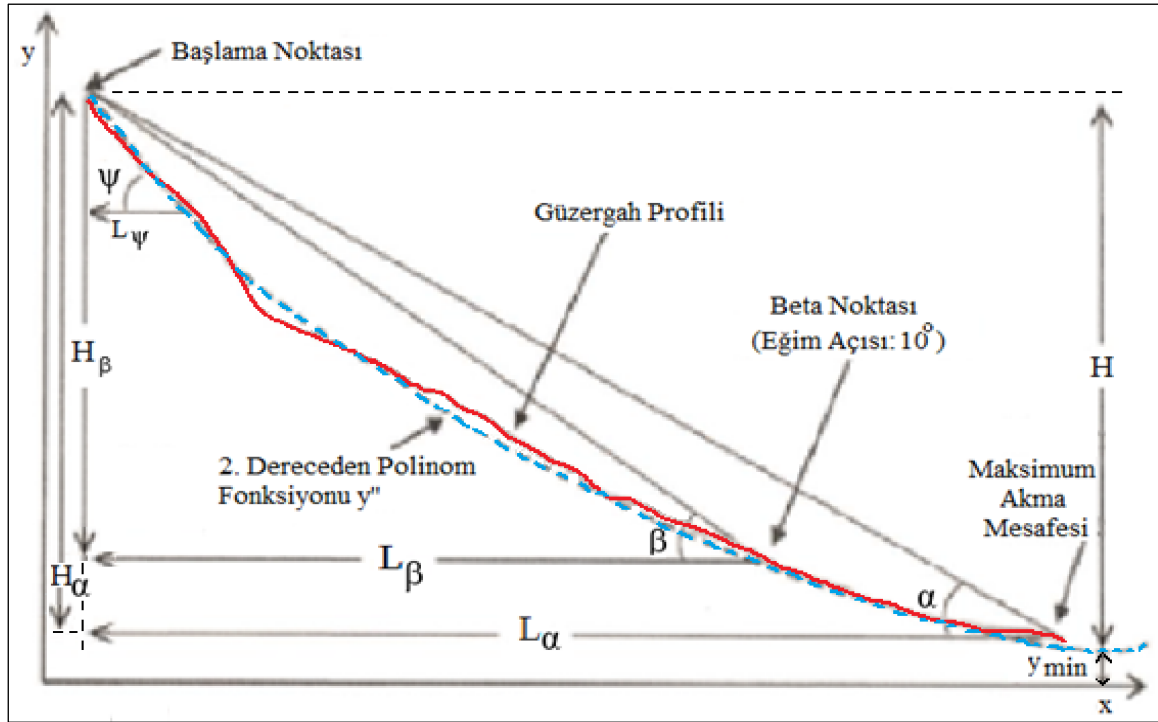
Model toz çığ durumu içinde çalıştırılabilmektedir. Hatta karışık çığ durumu göz önüne alınmıştır.

### 3.4. İstatistiksel Model Çalışmaları

İstatistiksel modeller, gerçekleşmiş yerel çığ olaylarından türetildiklerinden dinamik modellere göre daha yalın ve uygulanması daha kolaydır.

Bilinen ilk istatistiksel model Norveç Geoteknik Enstitüsü (NGI) çalışanlarından Lied ve Bakkehoi (1980) tarafından durma mesafesini hesaplanmak için geliştirilmiştir. Geliştirdikleri model, çığ güzergahına ait topoğrafik açılar olan alfa ve beta açılarını kullandığından alfa-beta akış modeli olarak isimlendirilmiştir. Fiziksel ölçümleri yapılmış durma mesafelerini istatistiksel yöntemlerle analiz etmişlerdir.

Maksimum durma mesafesinin belirlenmesinde çoklu regresyon analiz yöntemini kullanarak söz konusu mesafeyi etkileyen en önemli dört topografik parametreyi belirlemişlerdir. Bu parametreler, karın düşeyde kopma yüksekliği  $H$ , başlangıç bölgesinin eğimi  $\Psi$ , çığ patikasının ortalama eğimi  $\beta$ , başlangıç noktası ile durma noktası arasındaki yatay mesafe  $L$ 'dir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Alfa – Beta Akış Modeli (Johnston, Jamieson ve Jones, 2011)

Alfa – Beta akış modelinde, çığ güzergâhı eğiminin  $10^\circ$ 'ye düştüğü yer  $\beta$  noktası olarak isimlendirilir. Bu noktadan sonra çığ yavaşlamaya başlamaktadır. Bakkehoi, Domaas ve Lied (1983) tarafından yapılan çalışmalarda  $\beta$  noktası, 200 çığ patikası ve beş değişkenle yapılan regresyon analizleri sonucunda elde edilmiştir.

Söz konusu model çeşitli çalışmalar ile doğrulanmıştır. Avusturya'da gerçekleşmiş 80 çığ verisi kullanılarak hesaplanan maksimum durma mesafesi, aynı güzergâh için yapılan fiziksel ölçümlerle karşılaştırılmıştır (Lied, Weiler, Bakkehoi ve Hopf, 1995). Regresyon katsayısı  $R^2=0.92$ , standart sapma değeri ise  $1,5^\circ$  olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Alfa-Beta Akış Modelinin Ülkelere/Bölgelere göre karşılaştırılması (Delparte, Jamieson ve Waters, 2008)

| Ülke/Bölge | $\alpha - \beta$ Bağıntısı               | $R^2$ | S           | N   | Ort. $\alpha$ | Ort. H (m) | Ort. $\beta$ |
|------------|------------------------------------------|-------|-------------|-----|---------------|------------|--------------|
| Norway     | $\hat{\alpha} = 0,93\beta$               | 0,86  | $2,1^\circ$ | 192 | n/a           | n/a        | n/a          |
| Austria    | $\hat{\alpha} = 0,946\beta - 0,83^\circ$ | 0,92  | $1,5^\circ$ | 80  | n/a           | n/a        | n/a          |
| Iceland    | $\hat{\alpha} = 0,85\beta$               | 0,52  | $2,2^\circ$ | 44  | n/a           | n/a        | n/a          |

Çizelge 3.3. (devam) Alfa-Beta Akış Modelinin Ülkelere/Bölgelere göre karşılaştırılması  
(Delparte, Jamieson ve Waters, 2008)

| Ülke/Bölge                    | $\alpha - \beta$ Bağıntısı              | $R^2$ | S     | N   | Ort. $\alpha$ | Ort. H<br>(m) | Ort.<br>$\beta$ |
|-------------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-----|---------------|---------------|-----------------|
| Canada: Columbia<br>Mountains | $\hat{\alpha} = 0,93\beta$              | 0,89  | 1,1°  | 35  | 28,5°         | 946           | 30,6°           |
| Rockies/Purcells              | $\hat{\alpha} = 0,93\beta$              | 0,75  | 1,75° | 126 | 27,8°         | 869           | 29,8°           |
| Coast Mountains               | $\hat{\alpha} = 0,90\beta$              | 0,74  | 1,70° | 31  | 26,8°         | 903           | 29,5°           |
| Catalan Pyrenees              | $\hat{\alpha} = 0,86\beta + 1,05^\circ$ | 0,75  | 1,98° | 64  | 24,7°         | 753           | 27,3°           |
| Alaska                        | $\hat{\alpha} = 0,86\beta$              | 0,58  | n/a   | 52  | 25,4°         | 765           | 29,6°           |
| Colorado                      | $\hat{\alpha} = 0,80\beta$              | 0,50  | n/a   | 130 | 22,6°         | 641           | 27,4°           |
| Sierra Nevada                 | $\hat{\alpha} = 0,76\beta$              | 0,60  | n/a   | 90  | 20,7°         | 590           | 26,1°           |
| Western Norway                | $\hat{\alpha} = 0,90\beta$              | 0,87  | n/a   | 127 | 29,4°         | 827           | 32,6°           |

Gauer, Kronholm, Lied, Kristensen ve Bakkehoi (2010) Norveç ve Avusturya çığ verilerini kullanarak alfa-beta ile dinamik modeli karşılaştırmışlardır. Birim kütle için enerji dağılımının ölçüsü olan ortalama yavaşlatıcı ivmenin  $\beta$ 'ya bağlı olduğunu saptamışlardır.

İlk olarak Norveç'te geliştirilen Alfa – Beta modelini kullanan istatistiksel bir yaklaşım, British Columbia'daki Rogers Pass'ta kullanılmak üzere Delparte ve diğerleri (2008) tarafından uyarlanmıştır. Trans Kanada Otoyolu koridoru boyunca bilinen çığ güzergâhlarından, 40 yılı aşkın bir geçmişe sahip olan topografik parametreler, CBS ile birlikte değerlendirilerek kullanılmıştır. Böylece kalibrasyonu yapılmış olan model daha sonra gerçekleşmiş çığlara ait verileri bulunmayan Glacier National Park'taki çığ güzergâhına uygulanmıştır. Dijital stereo fotogrametri yöntemi kullanılarak çalışma alanı için yüksek çözünürlüklü bir Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. Çalışma sayısal haritalarda kullanılan yüksek ve düşük çözünürlükteki veri setleriyle tekrarlanmış ve önemli bir farkın olmadığı sonucuna varılmıştır (Delparte ve diğerleri, 2008).

$\beta$  noktası arazi çalışmaları ile belirlenirken, çığ ön çalışması için  $\beta$  noktası SYM kullanılarak

ta saptanabilmektedir. Kanada’da 53 çığ patikası için çözünürlükleri 1 m ile 90 m arasında değişen SYM’ler kullanılarak  $\beta$  noktası belirlenmiş ve araziden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

SYM verileri araziye yansıtan sonuçlar üretmesine rağmen, arazi çalışmalarında bitki örtüsü, yerel etki gibi bilgiler edinildiğinden durma mesafesinin tahmininde her iki yöntemin de kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Sinickas ve Jamieson, 2014).

McClung (2000) durma mesafesi modellemede iklim ve arazi şartlarını yansıtmada Gumbel dağılımının da kullanılabileceğini belirtmiştir.

### 3.5. Türkiye’deki Model Uygulamaları

Türkiye’de ilk modelleme uygulamaları bazı akademik çalışmalar ile başlamıştır. Örneğin Durak (2011), Arslan (2014), Uçar (2014) çığın bilgisayar model uygulamaları ile ilgili tez çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Koçyiğit ve Gürer (2007), Aydın, Bühler, Christen ve Gürer (2014), Aydın (2010), Köse, Aydın, Akkemik, Yurtseven ve Güner (2010) gibi araştırmacılar ise Türkiye’de yaptıkları uygulamaları makale olarak yayınlamışlardır. Durak (2011) tez çalışmasında, Bayburt iline bağlı Üzengili’de meydana gelmiş çığ için sayısal model sonucundan elde edilen basınç değerlerini kıyaslamak amacıyla yerleşim biriminde çığ sonrasında etkilenen yapılardan elde edilen gözlemleri birleştirerek çığın yıkıcı basınç etkilerini araştırmıştır. Arslan (2014), Trabzon ili Uzungöl beldesinde bulunan çığ patikalarından birisi için sayısal çığ modeli uygulaması gerçekleştirmiştir. SLF Araştırma Merkezinde geliştirilmiş olan ve birçok ülkede uygulanmış AVAL-1D Çığ Dinamik Modelini kullanarak seçilen uygulama alanında önceden oluşmuş bir çığ örneği için benzeşim elde etmiştir. Model, çığ akış eksenini boyunca süreklilik ve momentum denklemlerini sayısal yöntemler ile çözmektedir. Program tarafından istenen girdi verileri bu tez içerisinde ayrıntıları ile açıklanmıştır. Program çıktısı olarak çığ hızını, basıncını ve durma mesafesini sağlamaktadır. Modelin sonuçları 1992 yılında yaşanan Uzungöl örneğindeki ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile ölçümlerin uyumlu olduğu belirlenmiş, uygulama alanı için seçilebilecek sürtünme değerlerinin aralıkları tespit edilmiştir. Modelde kullanılan sürtünme parametrelerinin ( $\mu$  ve  $\xi$ ) Türkiye’deki iklim ve arazi şartları açısından değerlendirilerek modelde önerilen değerlerle kıyaslaması için yeni çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Sürtünme parametreleri modelin hassas

değerleri olup konu ile ilgili bir diğer çalışma Koçyiğit ve Gürer (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir diğer tez uygulaması ise Uçar (2014) tarafından yapılmıştır. Bu tezde öncelikli amaç, potansiyel çığ tehlike haritalarının tespit edilmesi, tehlike alan sınırlarının boyutlarını etkileyecek girdilerin ve etki düzeylerinin, arazi gözlemleri ve modelleme çalışmaları sonucunda belirlenmesidir. Çalışma alanı olarak Çoruh Nehir Havzası ve Palandöken Kayak Merkezi civarı seçilmiştir. Tezde potansiyel çığ başlama bölgeleri analizleri; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak tespit edilen eğim, bakı, tepe sırtlarına uzaklık, yüzey engebeler gibi topoğrafik karakteristikler ve bitki örtüsü bilgilerine göre, yine CBS'de hazırlanan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana hedefi uzun vadede çığ tehlikesi açısından oldukça önemli havzalardan biri olan Çoruh Nehir Havzası'nın yanı sıra, Türkiye'de bulunan diğer tüm riskli bölgelerde de uygulanabilecek temel bir çalışma ortaya koymak ve ilerleyen dönemde gerçekleştirilecek çığ modelleme çalışmaları ile önlem uygulamalarına katkı sağlamaktır.

Çığ sayısal modellerinin Türkiye açısından sınanması özellikle son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar ile devam etmektedir. Örneğin Aydın ve diğerleri (2014) tarafından Türkiye'de seçilen bazı geçmiş çığ olayları için iki boyutlu sayısal model sınamaları gerçekleştirmişlerdir. Model sınamaları genelde bilinen durma mesafesi ve çığ durma bölgesinde biriken kar yüksekliği üzerinden kontrol edilir. Çünkü çığ esnasında ölçülmesi mümkün olmayan çığ hareket hızı, akım yüksekliği ve çığın etki basıncının bir karşılaştırma parametresi olarak kullanımı mümkün değildir. Bu nedenle olay sonrası gözlenen çığ durma noktası, birikmiş kar yüksekliği ve yerel halk ile yapılan görüşmeler neticesinde elde edilen bulgular sayısal modelin bazı parametrelerini tahmin etmekte kullanılır. Bu bulgular ışığında doğrulanan model çalıştırılmaya hazırdır. Yeni nesil sayısal modeller CBS ile birlikte geliştirilmeye devam edilmektedir. ELBA+ ve RAMMS gibi çığ modelleri CBS ile uyumlu çalışmakta, programdan elde edilen sonuçlar üç boyutlu haritalar üzerinde gösterilebilmektedir (Aydın, 2010). Benzer bir uygulamanın ELBA+ sayısal modelinin Kastamonu ili sınırlarında bulunan Kayaarkası Köyünde meydana gelmiş çığ olayının benzeşiminde Köse ve diğerleri (2010) tarafından kullanıldığı görülmektedir.

## 4. RAMMS PROGRAMI

### 4.1. Programa Ait Genel Bilgiler

RAMMS (Rapid Mass Movements) özetle; Kar çığları, kaya düşmeleri, çamur akıntıları, yüzeysel-sığ toprak kaymaları ve heyelanlar gibi jeofiziksel kütle hareketlerini üç boyutlu arazi üzerinde, hareketin başlangıcından bitişine kadar olan süre zarfında iki boyutlu olarak hesaplamak üzere geliştirilen sayısal benzetim modelidir (SLF).

Söz konusu model, İsviçre merkezli Kar ve Çığ Araştırma Enstitüsü (SLF) ile İsviçre Orman, Kar ve Arazi Araştırma Federal Enstitüsü (WSL) tarafından içerisinde deneysel fizik, algılama / uzaktan algılama, kaya düşmesi ve yuvarlanmaları, kar çığları, çamur akıntıları, heyelanlar ve toprak kaymaları, coğrafi veri ve sayısal yükseklik modeli konularında uzman inşaat ve yazılım mühendisleri ile coğrafyacılar ve jeofizikçilerin yer aldığı ekip tarafından kar çığları, kaya düşmeleri/yuvarlanmaları, çamur akmaları ve heyelanlar ile mücadele eden mühendislere, yaygın olarak kullanılan bir boyutlu modellerin (örneğin AVAL-1D gibi) çözümlemelerde yetersiz kaldıkları durumlarda sahada rahatlıkla kullanabilmeleri ve gerçek sonuçlara oldukça yakın sonuçlar elde edebilmeleri için geliştirilmiştir.

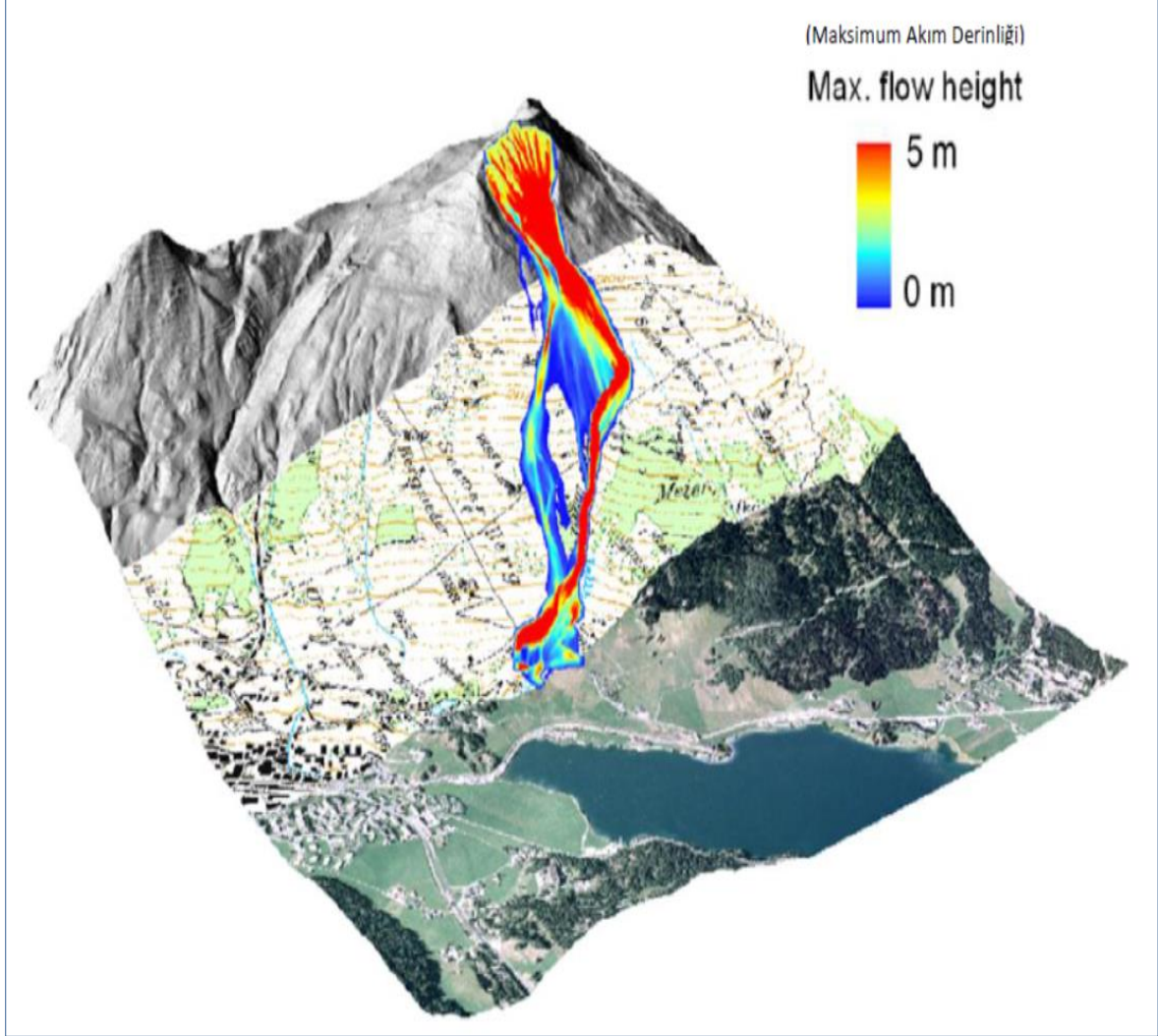
Sahadaki mühendislere kolay kullanım imkânı sunabilmek adına kullanıcı dostu bir ara yüze sahip olan bu program elde edilen simülasyon sonuçlarını rahatlıkla sunma ve müdahale etme imkânı vermektedir (Resim 4.1).

Bu modelin doğrulama ve kalibrasyonu için, İsviçre'nin Valais Bölgesinde yer alan Vallée de la Sionne gibi bire bir ölçekli test sahalarından elde edilen pek çok testlere ait veri setleri ile geçmiş çığ kayıtları kullanılmıştır.

Bunların sonucunda modelin hem büyük kütleli ve uzun güzergâha sahip kar çığları gibi devasa kütle hareketleri için hem de yerel, küçük ölçekli, küçük kütleli sığ toprak kaymaları için gerçek sonuçlara yakın güvenilir sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Ancak, bilindiği üzere sayısal modellerin ürettiği sonuçların gerçek sonuçlara yakınlığı uygulandığı sahaya göre değişiklik gösterebilmekte olup modellerin tekrar kalibre edilmesi

gerekebilmektedir. Dolayısı söz konusu modelin Ülkemizde güvenle kullanılabilmesi için Ülkemiz koşullarında da test edilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.



Resim 4.1. RAMMS tarafından üretilen örnek bir simülasyon sonucu (URL: <http://www.webcitation.org/733iY6YsA>)

Diğer bilgisayar programlarına benzer şekilde RAMMS programını da çalıştırabilmek için programın kurulacağı bilgisayarın asgari olarak belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir.

RAMMS'in kurulacağı bilgisayar için programın üreticisi tarafından önerilen minimum donanımsal gereksinim; İşletim sistemi Windows XP (32-bit) veya Windows 7 (64-bit), RAM kapasitesi 2 GB, işlemci kapasitesi Intel Pentium 1 GHz (çift çekirdekli) ve bellek kapasitesi de 200 MB olarak verilmektedir.



## 4.2. Programda Kullanılan Sürtünme Modeli

RAMMS, Voellmy-Salm yaklaşımını temel alan Voellmy Akışkan Sürtünme Modelini kullanmaktadır. Bu model sürtünme direncini, Kuru-Coulomb tipi sürtünme ( $\mu$ ) ve viskoz türbülans sürtünmesi ( $\xi$ ) olarak iki parçaya ayırmaktadır.

Program tarafından kullanılan sürtünme direnci ( $S_R$ ) Eş. 4.1’de verilmektedir.

Sürtünme direnci (Pa);

$$S_R = \mu \rho H g \cos(\phi) + \frac{\rho g U^2}{\xi} \quad (4.1)$$

olarak alınmakta olup burada ‘ $g$ ’ yerçekimi ivmesi, ‘ $\phi$ ’ eğim açısı, ‘ $H$ ’ akım derinliği, ‘ $U$ ’ ise akım hızıdır.

Voellmy Sürtünme Modeli, özellikle kar çığları olmak üzere kütle hareketlerinin simülasyonunda oldukça geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Voellmy modeli İsviçre’de kar çığlarının modellenmesinde uzun yıllardır kullanılmakta olup, buna yönelik standart parametre setleri mevcuttur.

## 4.3. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler

### 4.3.1. Sürtünme parametreleri ( $\mu$ ve $\xi$ )

RAMMS sürtünme parametreleri için sabit ve değişken hesaplama seçenekleri sunmaktadır. Sabit sürtünme değerleri ile hesap yapılıyor ise arazi değişimleri ve orman alanları dikkate alınmıyor demektir. Dolayısı ile program üreticileri tarafından daha gerçekçi simülasyonların elde edilebilmesi için mümkünse değişken sürtünme değerlerinin kullanılması önerilmektedir. RAMMS, eğim açısı, yükseklik ve eğrilik gibi topoğrafik veriler, orman örtüsü bilgisi ve çığ tekerrür periyodu ile çığ hacmi gibi global parametreleri temel alarak sürtünme parametrelerini ( $\mu$  ve  $\xi$ ) bir örneği Resim 4.2’de gösterildiği üzere otomatik olarak sınıflandırabilmektedir.

Program tarafından kullanılan sürtünme parametrelerine ait tablo ekler bölümünde EK-1 olarak verilmektedir.

Eğer  $\mu$  ve  $\xi$  değerleri ASCII dosya formatında mevcut ise söz konusu dosya örneğin ArcGIS gibi bir CBS yazılımı kullanmak suretiyle kolaylıkla RAMMS programında yapılan çalışmaya girdi olarak dâhil edilebilmektedir.

RAMMS | Automatic MuXi Procedure

Volume = LARGE Return period = 30 [Cancel] [OK]

(Optional: if empty -> default name)  
MuXi name: [ ]

Altitude Limits (m.a.s.l.): 1: [1500] 2: [1000]

**Above Altitude Limit 1**

|                                        |         |                |
|----------------------------------------|---------|----------------|
| Open Slope - Mu:                       | [0.170] | $\xi$ : [3000] |
| Channelled Slope - Mu:                 | [0.225] | $\xi$ : [2000] |
| Gully Slope - Mu:                      | [0.290] | $\xi$ : [1500] |
| Flat Area Slope - Mu:                  | [0.155] | $\xi$ : [4000] |
| Forested Area (mu=delta, xi=fix) - Mu: | [0.020] | $\xi$ : [400]  |

**Below Altitude Limit 1**

|                                        |         |                |
|----------------------------------------|---------|----------------|
| Open Slope - Mu:                       | [0.190] | $\xi$ : [2500] |
| Channelled Slope - Mu:                 | [0.240] | $\xi$ : [1750] |
| Gully Slope - Mu:                      | [0.310] | $\xi$ : [1350] |
| Flat Area Slope - Mu:                  | [0.170] | $\xi$ : [3500] |
| Forested Area (mu=delta, xi=fix) - Mu: | [0.020] | $\xi$ : [400]  |

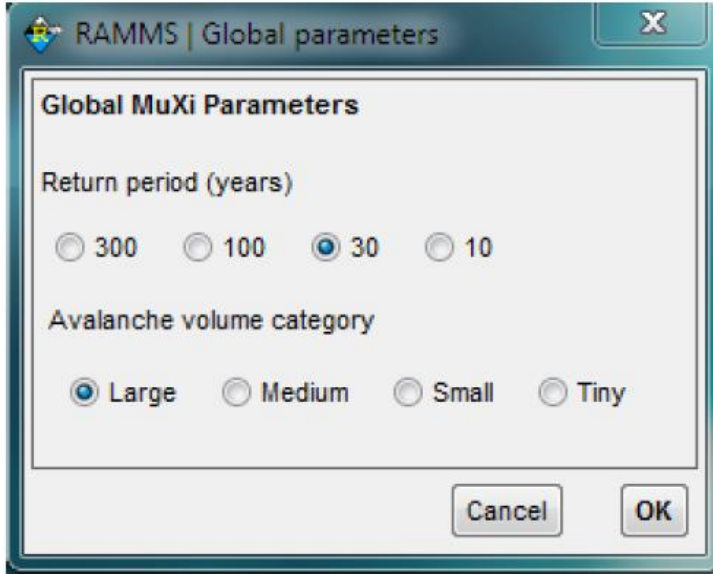
**Below Altitude Limit 2**

|                                        |         |                |
|----------------------------------------|---------|----------------|
| Open Slope - Mu:                       | [0.210] | $\xi$ : [2000] |
| Channelled Slope - Mu:                 | [0.260] | $\xi$ : [1500] |
| Gully Slope - Mu:                      | [0.330] | $\xi$ : [1200] |
| Flat Area Slope - Mu:                  | [0.190] | $\xi$ : [3000] |
| Forested Area (mu=delta, xi=fix) - Mu: | [0.020] | $\xi$ : [400]  |

Resim 4.2. RAMMS sürtünme parametreleri ( $\mu$  ve  $\xi$ ) penceresinin ekran alıntısı (WSL, 2013: 22)

#### 4.3.2. Global parametreler

Program global parametreleri,  $\dot{V}$  tekerrür periyodu ve  $\dot{V}$  hacmi olarak almakta olup (Resim 4.3) sürtünme parametreleri olan  $\mu$  ve  $\xi$  değerleri söz konusu global parametrelere kuvvetle bağlıdır. Dolayısı ile simülasyonu yapılacak olan kar  $\dot{V}$  için uygun bir tekerrür periyodu ve  $\dot{V}$  hacmi seçilmelidir.



Resim 4.3. RAMMS global parametreleri penceresinin ekran alıntısı (WSL, 2013: 23)

Resim 4.3'te de görüldüğü üzere program çığ tekerrür periyotlarını 10 yıl, 30 yıl, 100 yıl ve 300 yıl olarak vermektedir. Simülasyonda seçilecek çığ hacmi ile ilgili sınıflandırma bilgisi aşağıdaki Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Hacimlerine göre çığ sınıfları (WSL, 2013: 90)

| Çığ Sınıfları    | Çığ Hacmi (m <sup>3</sup> ) |
|------------------|-----------------------------|
| Büyük (Large)    | > 60.000                    |
| Orta (Medium)    | 25.000 – 60.000             |
| Küçük (Small)    | 5.000 – 25.000              |
| Çok Küçük (Tiny) | < 5.000                     |

#### 4.3.3. Kohezyon

RAMMS'in 1.6.20 sürümünden itibaren kullandığı temel Voellmy eşitliği, akan kar ile yapılan düşme deneyleri (Platzer, Bartelt ve Jaedicke, 2007; Platzer, Bartelt ve Kern, 2007) ve Illgraben (İsviçre) deki gerçek ölçekli debris akımları ile yapılan deneyler sonucunda kohezyonu da içerecek şekilde tekrar düzenlenmiştir. Kohezyonu da içerecek şekilde düzenlenen Voellmy eşitliği;

$$S_R = \mu \mathcal{N} + (1 - \mu)C - (1 - \mu)C \exp(-\mathcal{N}/C) + \frac{\rho g U^2}{\xi} \quad (4.2)$$

olarak verilmektedir. Eşitlik 4.2’de  $C$  akan malzemenin (çığı oluşturan materyal) kohezyonudur. Eşitlik 4.2 standart Mohr-Coulomb tipi ilişkiden farklı olarak, normal kuvvet (akma yüzeyine dik kuvvet  $\mathcal{N}$ ) ve akım hızı ( $U$ ) birlikte sıfıra doğru gittikçe sürtünme direncini ( $S_R$ ) de sıfıra götürmektedir. Sürtünme direnci, kohezyon katsayısına ( $C$ ) bağlı olarak kayma gerilmesini artıracak ve dolayısıyla akan çığın daha önce durmasına neden olacaktır.

Kar, sıcaklığına bağlı olarak değişik kohezyon özelliklerine sahiptir. Islak kar çığları daha yüksek kohezyon değerlerine sahipken, kuru kar çığları daha düşük kohezyon değerlerine sahiptir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Çığ türlerine göre kullanılması önerilen kohezyon değerleri (İnternet)

| Çığ Türleri       | Kohezyon Değerleri $C$ (Pa) |
|-------------------|-----------------------------|
| Kuru Kar Çığları  | 0 – 100                     |
| Islak Kar Çığları | 100 – 300                   |
| Debris Akıntısı   | 0 – 2000                    |

Kohezyon, durma bölgesindeki sanal nümerik difüzyonu azaltarak birikme bölgesinin daha doğru tasvirini sağlar.

#### 4.3.4. Eğrilik

RAMMS’in 1.6.20 sürümünden itibaren, hesaplamalarda kullanılan normal kuvvet  $\mathcal{N}$  (akma yüzeyine dik kuvvet) arazi eğriliğinden doğan merkezkaç kuvvetini de içermektedir. Bunun için Fischer, Kowalski ve Pudasaini (2012) tarafından RAMMS için özel olarak geliştirilerek teklif edilen metot kullanılmaktadır.

Merkezkaç ivmesi  $f$ , hem çıkış hızına hem de arazi eğriliğine bağlıdır. Merkezkaç ivmesi  $f$

$$f = \vec{u}\mathbf{K}\vec{u}^T \quad (4.3)$$

olarak verilmekte olup burada  $\mathbf{u}$ , çıkış hızının x ve y yönündeki bileşenlerini içeren bir vektör [ $\vec{u} = (u, v)$ ],  $\mathbf{K}$  ise güzergahın burulmasını da içerecek şekilde bütün yönlerdeki güzergah eğriliğini tanımlayan bir matristir.

Dolayısı ile eğrilikten doğan ve hesaplamalarda normal kuvvete ( $\mathcal{N}$ ) eklenen merkezkaç kuvveti  $F$ ,

$$F = \rho h f \quad (4.4)$$

olarak ifade edilmektedir. Eğrilik etkisi fazla (kıvrımlı) ve burulmalı güzergâhlarda merkezkaç kuvveti fazla olacağından sürtünme de artacaktır.

#### 4.4. Yönetsel Denklemler ve Sayısal Çözüm Tekniği

RAMMS programı; Kütle, momentum ve rasgele kinetik enerjiye (Random Kinetic Energy) ait denge kanunlarından derinlik ortalamalı olarak türetilen kısmi diferansiyel denklemler sistemini sayısal çözüm yöntemi ile birinci ve ikinci mertebeden sonlu hacimler yaklaşımı kullanarak çözmektedir (Christen ve diğerleri, 2008).

Program tarafından kullanılan yönetsel diferansiyel denklemler Eşitlik 4.5, 4.7, 4.8 ve 4.9 olarak verilmektedir (Christen ve diğerleri, 2008).

$x$  ve  $y$  yönlerine sahip koordinat sistemi ile tanımlı hesap alanı için  $t$  anındaki çıkış derinliği  $H(x, y, t)$ ,  $x$  ve  $y$  yönlerindeki ortalama çıkış hızları ise sırasıyla  $U_x(x, y, t)$  ve  $U_y(x, y, t)$  olmak üzere;

- Kütle dengesi için kullanılan eşitlik;

$$\partial_t H + \partial_x (H U_x) + \partial_y (H U_y) = \dot{Q} \quad (4.5)$$

Burada  $\dot{Q}(x, y, t)$  kar sürüklenme oranı olup, çığ ile kayan kar tabakasının boyu  $l(x, y, t)$  olarak alınırsa,

$$\dot{Q}(x, y, t) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } h_i = 0 \text{ ise} \\ \frac{\rho_i}{\rho_a} h_i \frac{U}{l} & \text{eğer } k_i l \geq h_i \text{ ise} \\ \frac{\rho_i}{\rho_a} k_i U & \text{eğer } k_i l < h_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.6)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Burada,  $i$  inci kar tabakasının kalınlığı  $h_i$ , yoğunluğu ise  $\rho_i$ 'dir. Çığın yoğunluğu sabit olup  $\rho_a$  olarak ifade edilmektedir. Boyutsuz bir parametre olan  $k_i$  ise birim akım hızı için kar sürüklenme oranıdır. İsviçre'nin Valais Bölgesinde yer alan Vallée de la Sionne test sahasında yapılan arazi çalışmalarında  $100 \text{ kg/m}^2 \text{ s} \leq \rho_i \dot{Q} \leq 500 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  için  $0,05 \leq k_i \leq 0,5$  değer aralığı önerilmiştir.

- Momentum dengesi için kullanılan eşitlik;

$x$ -yönündeki

$$\partial_t (H U_x) + \partial_x \left( H U_x^2 + \frac{g_z H^2}{2} \right) + \partial_y (H U_x U_y) = S_{gx} - S_f(R)[n_x] \quad (4.7)$$

$y$ -yönündeki

$$\partial_t (H U_y) + \partial_x \left( H U_x U_y \right) + \partial_y \left( H U_y^2 + \frac{g_z H^2}{2} \right) = S_{gy} - S_f(R)[n_y] \quad (4.8)$$

Burada  $S_{gx} = g_x H$  ve  $S_{gy} = g_y H$  yer çekimi ivmesi kaynaklı sırasıyla  $x$  ve  $y$  yönlerindeki harekete neden olan kuvvetlerdir.  $S_f(R)$  sürtünme direncini ifade eder. Ayrıca  $n_x = \frac{U_x}{\sqrt{U_x^2 + U_y^2}}$ ,

$$n_y = \frac{U_y}{\sqrt{U_x^2 + U_y^2}} \text{ dır.}$$

Kütle sürüklenmesinin neden olacağı momentum kaybı dikkate alınmamaktadır.

- Rasgele kinetik enerji dengesi için kullanılan eşitlik;

Çıgı oluşturan kar taneciklerinin  $t$  anındaki ortalama rasgele kinetik enerjisi  $R(x, y, t)$  olmak üzere

$$\partial_t(HR) + \partial_x(HRU_x) + \partial_y(HRU_y) = \dot{P} - \dot{D} \quad (4.9)$$

Burada  $\dot{P}(x, y, t)$  ve  $\dot{D}(x, y, t)$  çıgı içinde hareket eden kar tarafından sırasıyla üretilen ve tüketilen rasgele kinetik enerjilerin toplamıdır (Bartelt ve diğerleri, 2006; Buser ve Bartelt, 2008)

Yönetsel diferansiyel eşitlikler (Eşitlik 4.5, 4.7, 4.8 ve 4.9) doğrusal olmayan hiperbolik eşitlik sistemi oluşturmakta olup söz konusu sistem Eşitlik 4.10 olarak da ifade edilebilir.

$$\partial_t \mathbf{V} + \nabla \cdot \mathbf{F}(\mathbf{V}) = \mathbf{G}(\mathbf{V}) \quad (4.10)$$

Burada;

$\mathbf{V}(x, y, t)$  dört adet bilinmeyen değişkenleri içeren bir vektör olup Eşitlik 4.11 ile ifade edilmektedir.

$$\mathbf{V}^T(x, y, t) = (H \ HU_x \ HU_y \ HR) \quad (4.11)$$

$\mathbf{F}(\mathbf{V})$  akı fonksiyonudur.  $\mathbf{G}(\mathbf{V})$  vektörü ise kütle sürüklenmesi, yerçekimsel ivmeler, oluşan rasgele enerji gibi hareketi oluşturan ve sürtünme kuvvetleri, kaybolan rasgele kinetik enerji gibi hareketi durdurmaya çalışan kaynak terimlerini içeren vektördür.

Sayısal çözümde kullanılan sonlu hacim yaklaşımı uygulamasında akı fonksiyonu HLLC (Harten-Lax-van Leer-Einfeldt) çözüm tekniği kullanılmıştır. Konumda ikinci dereceden yakınsamayı sağlayabilmek için ‘minmod-limited linear reconstruction’ yöntemi

kullanımıdır. Ayrıca zaman-integrali için 'Runge-Kutta-Heun' yöntemi kullanılmıştır. (Kowalski, 2008).

RAMMS programının ilk sürümlerinin kullandığı sayısal çözümlerde birbirini dik kesen çözüm ağı hücreleri (ortogonal grids) uygulanmıştır. Bu durum hesaplama hızını artırarak gereken zamanı azaltmakta fakat özellikle keskin değişimlerin olduğu dik arazilerde sayısal dengesizlikleri de beraberinde getirmektedir. Bu çalışma kapsamında da kullanılan RAMMS'ın yeni sürümünde ise (1.6.20 sürümü) kullanılan çözüm ağı hücreleri genel dörtgen çözüm ağı hücreleri (quadrilateral grids) olarak değiştirilmiştir. Bu yeni yöntem sayısal dengesizlikleri azaltmaktadır ancak diğer yönteme göre hesaplama hızını biraz düşürmektedir. Hesaplarda standart olarak 0,000001 m ve altındaki kar derinlikleri dikkate alınmamaktadır ve 0 m olarak kabul edilmektedir.

#### **4.5. Orman Örtü Bilgisi**

Orman örtüsü bilgisi programın çalıştırılması için gerekli bir bilgi olmayıp, sürtünme parametreleri bu bilgiyle sıkı bağlı olduğundan yine program üreticileri tarafından daha gerçekçi simülasyonların elde edilebilmesi için varsa bu bilginin de kullanılması önerilmektedir. Bu bilgi, ESRI ASCII Grid (0: no forest, 1: forest) veya Polygon Shapefile formatında girdi olarak temin edilebileceği gibi elde bu konuda herhangi bir dosya bulunmaması durumunda ise RAMMS programının içerisinde Polygon Shapefile formatında üretilip bu dosya girdi olarak simülasyona dâhil edilebilmektedir.

#### **4.6. Hesap Etki Alanı ve Çığ Kopma Bölgesi**

Programda yeni bir hesaplamayı başlatmak veya belirli bir senaryo içerisinde bir hesap yaptırmak için çığ kopma bölgesini, hesap etki alanını (calculation domain) ve sürtünme parametrelerini ( $\mu$  ve  $\xi$ ) tanımlamak gerekmektedir. Sürtünme parametrelerin etkisine benzer şekilde çığ kopma bölgesinin ve kopma derinliğinin de RAMMS modelinin simülasyon sonuçları üzerine güçlü bir etkisi söz konusudur. Yine mümkün mertebe daha küçük hesap etki alanı tanımlamak özellikle hesap yapılacak nokta (hücre) sayılarını olabildiğince az tutabilmek adına oldukça faydalı olacaktır.

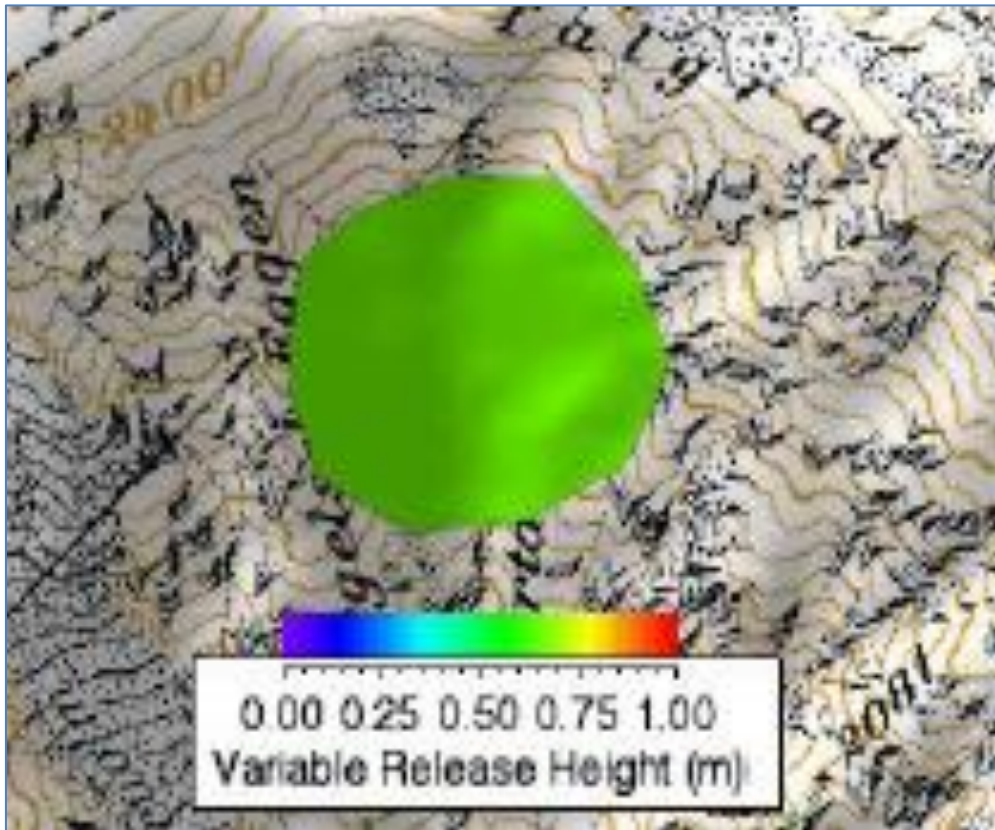




Çığ akma güzergâhının yerleştirildiği hesap ağı, boyutu 5 veya 10 m gibi nispeten iri sayılabilecek hücrelerden oluşuyor ise hesabın yapılmasını istediğimiz bölge program içerisinde poligon çizmek suretiyle hesap etki alanı olarak seçilebilmektedir. Hesap ağında kullanılan hücre boyutunun 5 metrenin altında olduğu durumlarda olabilecek en küçük hesap etki alanı seçilmesi programın üreticisi tarafından şiddetle önerilmektedir.

#### 4.6.2. Çığ kopma bölgesi

Çığ kopma bölgesinin (Resim 4.5) ve kopma derinliğinin RAMMS modelinin simülasyon çıktıları üzerine güçlü bir etkisi olduğundan dolayı söz konusu girdileri tanımlarken kopma bölgesine ait fotoğraflar, GPS ölçümleri veya konu ile ilgili yardımcı olabilecek arşivlenmiş haritalardan elde edilecek referans bilgilerin kullanılması programın üreticisi tarafından önerilmektedir. Bu iş yani çığ kopma bölgesinin ve kopma derinliğinin tanımlanması, çalışılacak sahanın topoğrafik ve meteorolojik durumu ile ilgili tecrübe sahibi kişilerce yapılmalı ve programa 2 Boyutlu (2D) olarak girilmelidir.

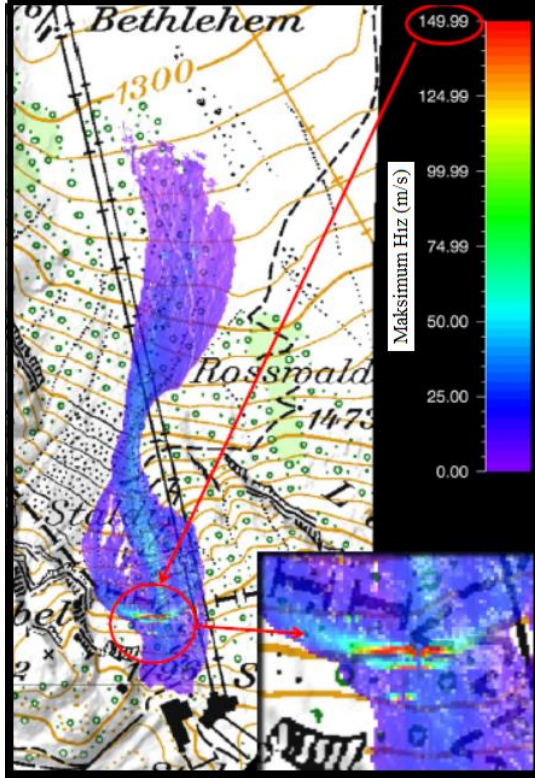


Resim 4.5. Çığ kopma bölgesi örnek ekran alıntısı (WSL, 2013: 37)



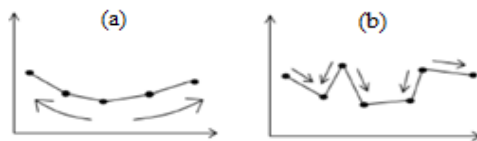
#### 4.7. Sayısal (Nümerik) Düzensizlikler

RAMMS programı, 2. derece sayısal çözüm metotları kullanmakta olup özellikle topografik değişimlerin büyük olduğu durumlarda sayısal düzensizlikler belirebilmektedir. Söz konusu sayısal düzensizlik örneği Resim 4.6’da kırmızı ile çevrilmiş bölge ile gösterilmektedir.

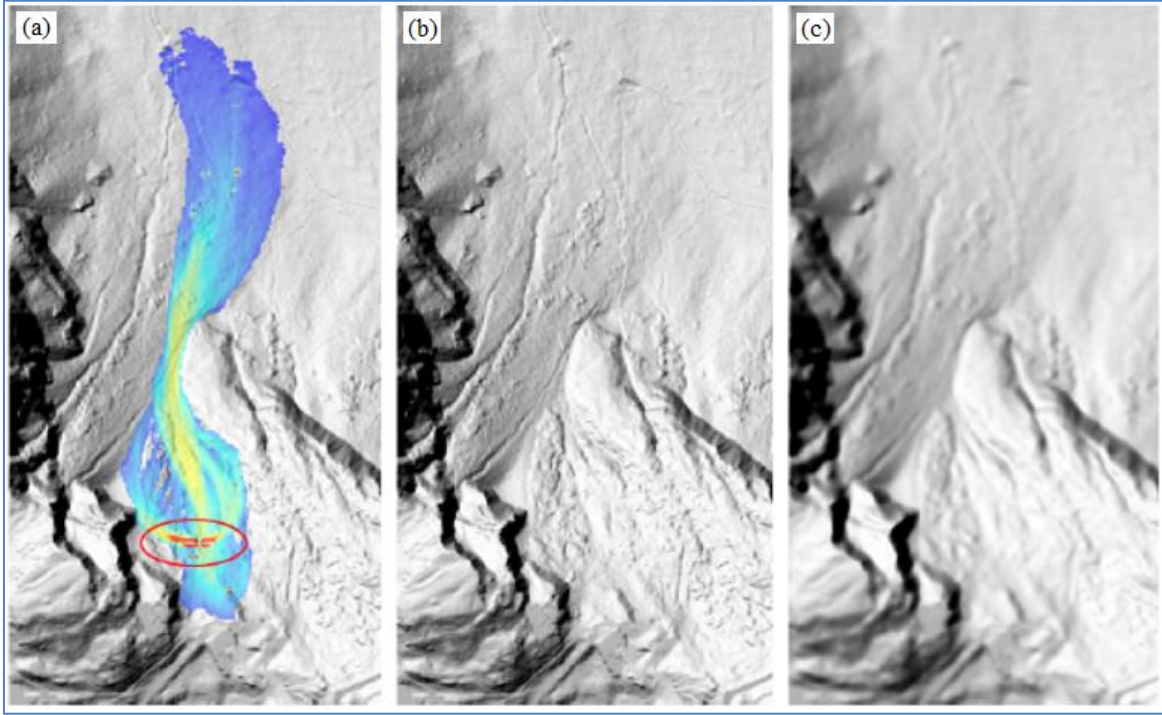


Resim 4.6. Sayısal düzensizlik sonucu oluşan hız pikleri (WSL, 2013: 63)

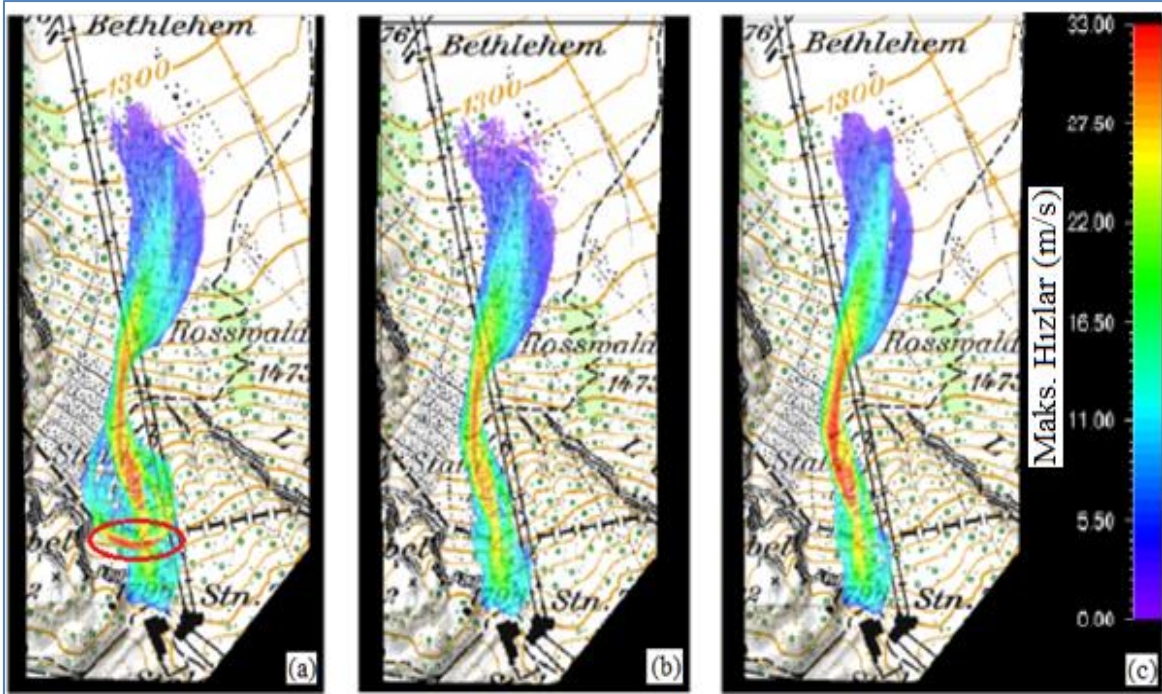
Resim 4.7 (a)’da gösterilen görece olarak daha düz bir araziye sahip çığ akma güzergâhında sayısal düzensizlik görülmez. Ancak, Resim 4.7 (b)’da gösterilen arazi tipi için bazı komşu hücrelerden gelecek mantıklı-gerçekçi bileşenlerini (özellikle hız hesaplarında) oluşturmanın zorluğundan dolayı sayısal düzensizlikler görülebilir. Bu da sonuçlarda gerçek dışı hız piklerinin görülmesine neden olabilmektedir.



Resim 4.7. Temsili yumuşak eğimli arazi (a), Temsili düzensiz (kırıklı) arazi (b) (WSL, 2013: 63)



Resim 4.8. Sayısal düzensizlik sonucu oluşan hız pikleri (a), Düzensiz (kırıklı) arazi (b), Aynı arazinin ArcGIS programı ile (5x5 mean filtering) daha yumuşak (az kırıklı) hale getirilmiş hali (c) (WSL, 2013: 64)



Resim 4.9. Sayısal düzensizlik örneği ve çözümleri; Sayısal düzensizlik (kırmızı ile çevrilmiş bölge) sonucu oluşan hız pikleri dikkate alınmaz (a), Düzensiz (kırıklı) arazi için programda yapılan 1. Derece sayısal çözüm (b) , Aynı arazinin ArcGIS programı ile (5x5 mean filtering ) daha yumuşak (az kırıklı) hale getirilmiş halinde yapılan 2. Derece sayısal çözüm (c) (WSL, 2013: 64)

RAMMS sonuçlarında sayısal düzensizliklerin olması durumunda sonuçların söz konusu düzensizlik etkisinden arındırılmasına yönelik aşağıda verilen şekilde farklı çözümler uygulanır;

- Sonuçlarda verilen hızlar incelendiğinde sayısal düzensizlik sonucunda oluşan hız pikleri belli bölgelerde ve sınırlı (yerel) ise bu pikler ihmal edilir.
- Söz konusu düzensizlik kaynağından yayılıyor ve yerel bir bölge ile sınırlı kalmıyor ise hesaplamalarda kullanılan arazi eğimi Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları (örneğin ArcGIS programında “mean filtering” uygulaması) kullanılarak daha yumuşak hale getirilir (Resim 4.8) veya söz konusu arazi için programda 1. Derece sayısal çözüm (Resim 4.9) yapılır.

#### **4.8. Program Çıktılarının Görselleştirilmesi ve Analizi**

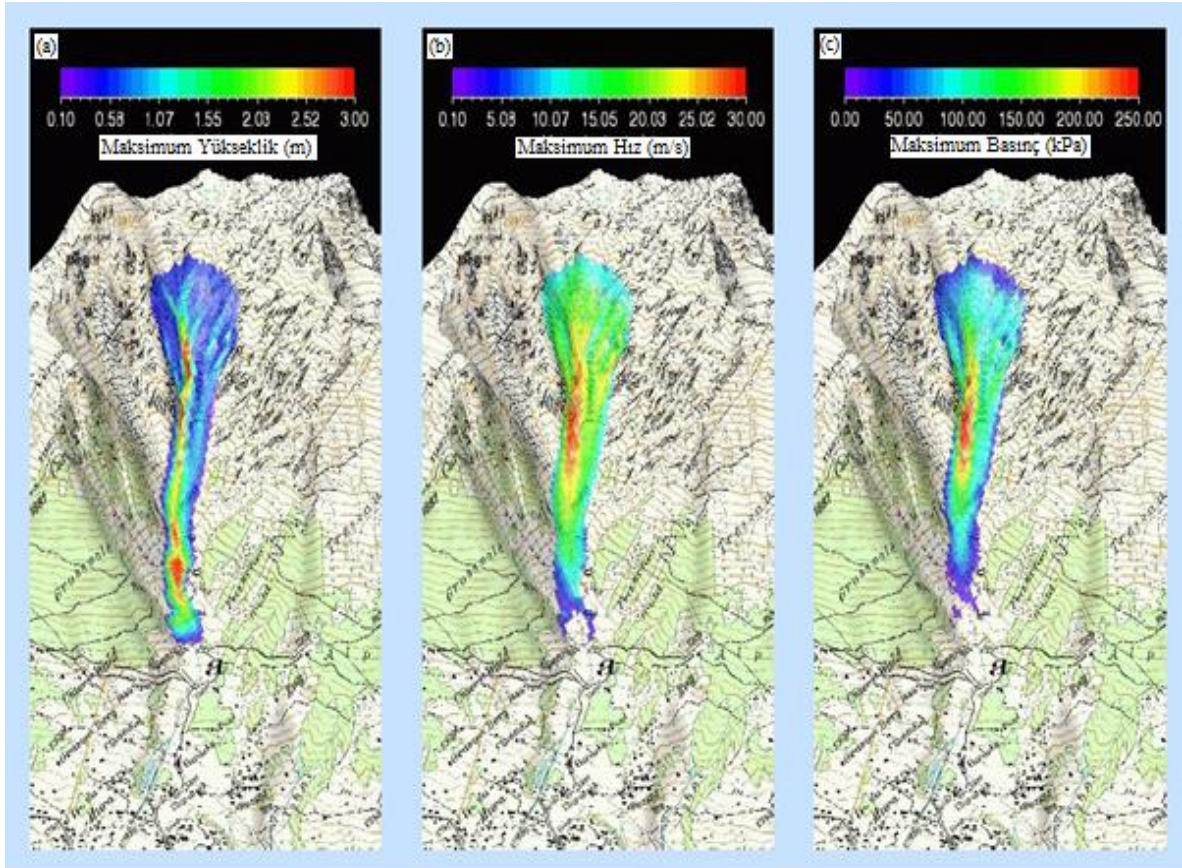
RAMMS da tıpkı diğer sayısal modeller gibi belli koşullar altında ve kabuller ile gerçek durumu kabul edilebilir düzeyde basitleştirerek çözüm yapmaktadır. Bu nedenle programdan elde edilen çıktıların, araştırma bölgesinin topoğrafik ve meteorolojik durumu ile ilgili yeterli düzeyde bilgi sahibi ve yöreye aşina uzman kişiler tarafından yorumlanması program üreticisi tarafından kuvvetle tavsiye edilmektedir.

Programın kullanıcı ara yüzünde akma derinliği, hızı, basıncı, momentumu, derinlik-hız-basınç-momentum maksimum değerleri, kar birikimleri, hareket eden kütle özet bilgileri, sürtünme parametrelerine ait sonuçların verildiği aşağı doğru açılan bir menü mevcuttur.

Dolayısıyla program söz konusu parametrelere ait elde edilen sonuçların bu menüden seçilerek renkli bir ölçekle topoğrafya üzerinde görüntülenmesine imkân vermektedir.

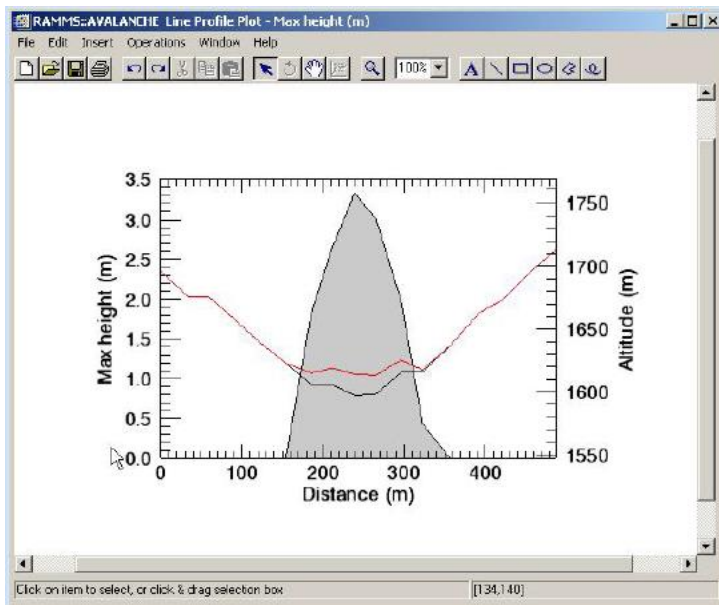
RAMMS tarafından oluşturulan örnek bir simülasyon sonucu elde edilen maksimum akım derinliği, maksimum hız ve maksimum basınç değerleri Resim 4.10’da gösterilmektedir.





Resim 4.10. Örnek simülasyon sonuçları: Maksimum akım derinliği (kar yüksekliği) değerleri (a), Maksimum akım hızları (b), Maksimum basınç değerleri (c) (WSL, 2013: 55)

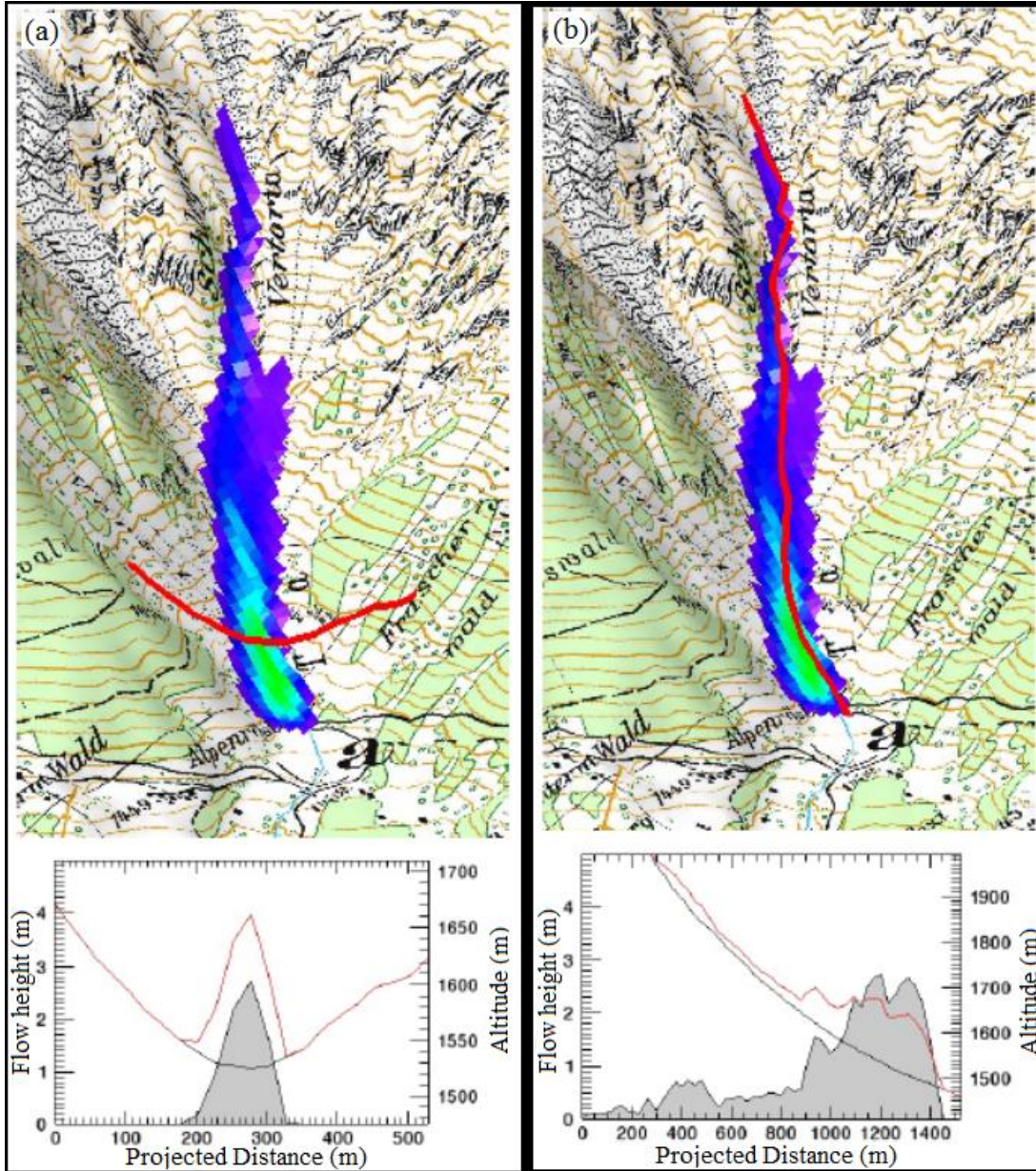
RAMMS tarafından oluşturulan bir simülasyonda örnek bir en kesit için maksimum kar derinliğinin en kesit boyunca değişimi ve rakım Resim 4.11’de gösterilmektedir.



Resim 4.11. RAMMS tarafından oluşturulan en kesit örneği (WSL, 2013: 56)



Resim 4.11’de verilen sol taraftaki ölçek, kesit için oluşan kar yüksekliğini, sağ taraftaki ölçek kesitin rakımını ve alttaki ölçek ise kesitin plandaki uzunluğunu metre olarak göstermektedir. Resim 4.12’de simülasyon sonucu oluşturulan plandaki maksimum hız dağılımı ile bu hız dağılımından elde edilen en kesit ve boy kesit örnekleri verilmektedir.

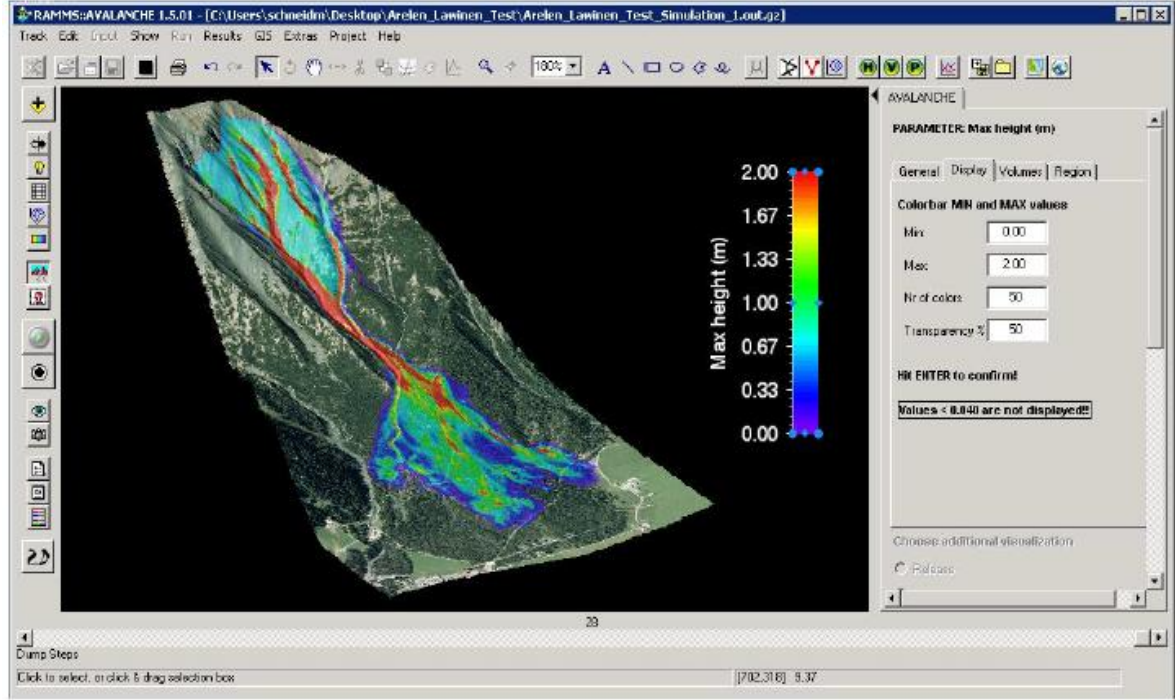


Resim 4.12. En kesit çıktısı örneği (a), Boy kesit çıktısı örneği (b) (WSL, 2013: 57)

Program elde edilen sonuçların, “.png”, “.jpg”, “.gif”, “.tif” gibi değişik formatlarda imge dosyası (image file) olarak program dışına aktarılabilmesine imkân vermektedir. Yine program kullanıcı tarafından belirlenebilecek bir zaman aralığı için GIF animasyonu oluşturularak bunun program dışına aktarılabilmesine imkân vermektedir.

#### 4.9. Grafiksel Kullanıcı Ara Yüzü

Program, Resim 4.13'ten görüleceği üzere menünün yer aldığı bir çubuk (menü bar), yatay ve dikey araç çubuğu (tool bar), bir ana pencere, zaman adımı kaydırıcısı, sağ ve sol durum çubukları, renk çubuğu ve panel içeren kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir.



Resim 4.13. Grafiksel kullanıcı ara yüzü (WSL, 2013: 69)



## 5. PİLOT ALANDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 5.1. Pilot Çalışma Alanı Seçimi

Pilot alan seçiminde özetle aşağıda maddeler halinde verilen kriterler dikkate alınmıştır;

- Seçilecek sahanın yakınında kış şartlarında dahi her daim ulaşım imkânı bulunan ve gerektiğinde konaklama ile ikmal amaçlı da kullanılabilecek bir yerleşim yerinin olması,
- Seçilecek sahada veya yakınlarında DSİ Genel Müdürlüğü ve/veya MGM tarafından işletilen bir Kar Gözlem İstasyonu (KGİ) bulunması,
- Ankara'dan özellikle kış aylarında kolay ulaşılabilir bir yer olması,
- Geçmiş dönemlerde çığ yaşanmış olması ve bölgedeki yaşamı olumsuz etkilemesi,
- Aktif potansiyel çığ bölgelerinin mevcudiyeti,
- Çalışılacak bölgenin asayiş açısından güvenli bölge olması,
- Kurulacak yeni OMGI'nin temin edeceği verilerin kesintisiz ve güvenli bir şekilde aktarabilecek iletişim olanaklarının bulunması,
- Kurulacak bölgede OMGI güvenliği ile ilgili sıkıntısının bulunmaması.

Yukarıda belirtilen kıstaslar dikkate alındığında Ülkemizin batısında, İzmir ili, Ödemiş ilçesine bağlı Bozdağ köyü yakınlarındaki Bozdağ kayak merkezini de içine alan saha pilot bölge olarak seçilmiştir (Harita 5.1).



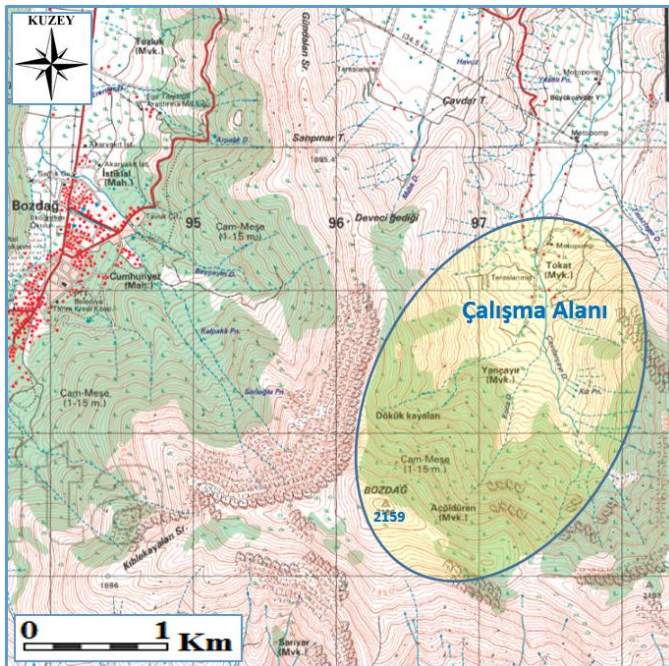
Harita 5.1. Bozdağ pilot bölgesi için ölçeksiz yer bulduru haritası (Harita altlığı Google Maps'ten alınmıştır.)

### 5.1.1. Pilot çalışma alanı; İzmir Bozdağ

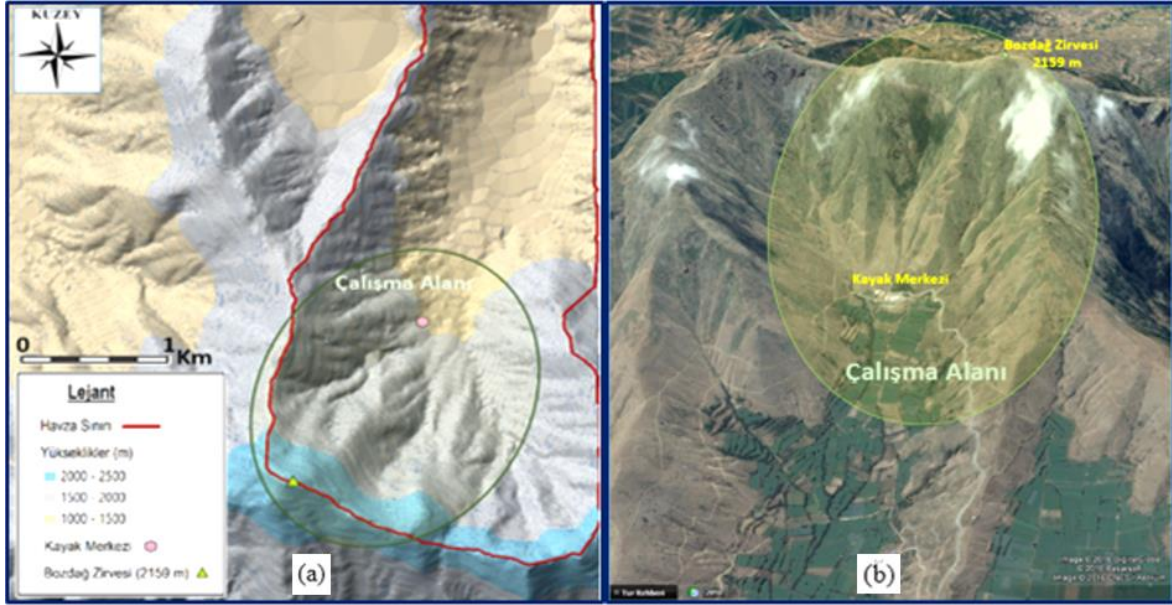
Pilot saha olarak seçilen bölgede bulunan kayak merkezi adını, kurulduğu dağın isminden almıştır. Pilot bölgenin İzmir iline uzaklığı, yaklaşık olarak 157 km'dir. Bu yolun 116 km'si İzmir-Ödemiş, 28 km'si Ödemiş-Bozdağ Merkez ve 13 km'si ise Bozdağ Merkez-Bozdağ Kayak Merkezi arasındadır.

Pilot bölgenin merkezinde yer alan Bozdağ Kayak Merkezi, güneyde Bozdağ (2159 m), Çatalsivritepe (2138 m), Tozlutepe, doğuda Aktaş Tepe (2024 m), Kartal Tepe (2040 m), kuzeyde Üçler Tepe (1908 m) Ortadağ Tepe (1641 m), Çavdar Tepe, Sarıpınarlar Tepe (1695 m) ve Dorukkayaları mevki (1888 m) ile sınırlandırılmıştır. Bu bölgedeki en yüksek eğimli yamaçlar, güneydeki ve doğudaki tepelerin kuzeye bakan yamaçlarıdır. Özellikle telesiyelerin kurulduğu Bozdağ ve Çatalsivri Tepeleri kayak merkezi tesislerine bakan yamaçlardaki eğimlerin genellikle maksimum 55°, minimum 26° ve ortalama 40° civarındadır. Alanda hâkim bitki örtüsü bodur çalılar, otsu bitkiler ve sürüngen ardıçtır. 1600 metrenin altındaki kotlarda bulunan seyrek çam ormanları daha aşağılara doğru yerini maki tipi bitki örtüsüne bırakmaktadır (AFET, 1998).

Harita 5.2'de gösterilen ve 2159 m zirve yüksekliğine sahip Bozdağ, Honaz Dağı ve Murat Dağı'ndan sonra Ege Bölgesi'nin en yüksek 3. tepesidir.



Harita 5.2. Bozdağ pilot çalışma alanının 1/25.000 ölçekli basılı haritadaki yeri



Resim 5.1. Pilot bölgeye ait genel vaziyetler, (a) ArcGIS görüntüsü ve (b) Google Earth görüntüsü

Resim 5.1’den de görüleceği üzere pilot bölge içerisinde yer alan Kayak Merkezi çığdan etkilenme riski olan bir alanda konumlandırılmıştır. Gerek telesiyej hatları gerekse konaklama tesisleri sıkça çığ tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin Bozdağ’da 2013 yılında iki ayrı çığ felaketi yaşanmıştır. 20 Ocak 2013 tarihinde Bozdağ Kayak Merkezi’ne çığ düşmüş, otel odasının yan penceresi (Resim 5.2), bir telesiyej direği (Resim 5.3) ve dere üzerindeki köprünün bir bölümü (Resim 5.4) zarar görmüştür.



Resim 5.2. Kayak merkezindeki otelin zarar gören yan penceresi



Bu olay üzerine tesis kapatılırken, 13 Şubat 2013 tarihinde de Ege Üniversitesi Dağcılık Kulübü üyesi 4 dağcı Bozdağ zirvesine tırmanmaya çalışırken Mermeroluk Diktepe Mevkiinde meydana gelen çığ nedeniyle dağcılardan birisi çığ altında kalarak yaşamını yitirmiştir. Bu nedenle bölge çığ açısından oldukça aktiftir.

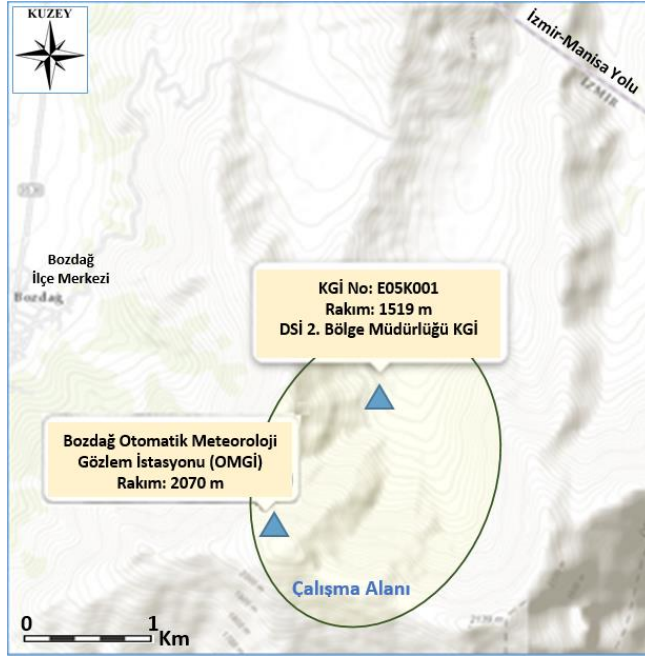


Resim 5.3. Zarar gören telesiyej direği



Resim 5.4. Çığ sonrası köprünün görüntüsü

Kayak Merkezi yakınlarında 1519 m kotunda tesis edilmiş bir Kar Gözlem İstasyonu (E05K001 Numaralı İstasyon) (Resim 5.5) ile Bozdağ'ın zirvesine çok yakın zirve sırtında 2070 m kotunda TÜBİTAK 1001 Projesi kapsamında 2015 yılında tesis edilmiş olan bir Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (Resim 5.6) bulunmaktadır.



Resim 5.5. E05K001 numaralı kar gözlem istasyonu ve Bozdağ OMGİ



Resim 5.6. Bozdağ OMGİ'den genel görünüm



Bozdağ pilot havzasında Kayak Merkezi yakınlarında 1519 m kotunda tesis edilmiş olan söz konusu Kar Gözlem İstasyonu (KGİ) halen DSİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir. E05K001 numaralı bu istasyona ait veriler (EK-2) 2005 – 2017 yılları arası için temin edilmiş olup söz konusu tablodan, 2005 – 2017 yılları arasında toplam 37 adet ölçüm yapıldığı, bu ölçümlerden 20 adedinde istasyon yerinde kar ölçümünün yapılabildiği geriye kalan 17 adedinde ise istasyon mevkiinde kar bulunmadığı için ölçüm yapılamadığı tespit edilmiştir. Yine aynı tablodan, 13 yılı kapsayan ölçüm periyodunun 2012, 2013 ve 2014 yılları olmak üzere 3 yılında ise ölçüm yapılamadığı görülmektedir.

Çalışılan pilot havza mansaptan memba ya doğru Resim 5.7’de gösterilmektedir. Bu resimde Kayak Merkezi ve hemen yakınında tesis edilmiş olan E05K001 numaralı KGİ’deki kar örtüsünün derinliği ile zirveye doğru çıkıldıkça gözlemlenen kar örtüsünün derinliğinin değişimi net olarak görülebilmektedir. İstasyon civarında karla kaplı alanlar daha az ve ince iken yukarı kotlara doğru çıkıldıkça karla kaplı alanlar ve kar derinliği artmaktadır. Resim 5.7 ile aynı tarihte çekilen Resim 5.8’de ise zirvedeki kar örtüsünün durumu gösterilmektedir.



Resim 5.7 Mansaptan membaya doğru pilot havzanın görünümü



Resim 5.8. Bozdağ zirvesinden görünüm

Karsız dönemlerde dahi ulaşımın güç olduğu özellikle yüksek kesimlerde kar yüksekliklerinin ölçülmesi oldukça zordur. Çığ ile ilgili yapılan çalışmalarda kar derinliği temel girdilerden birisi olduğundan çalışılan alanı temsil edecek noktalarda kar yüksekliklerinin mümkün mertebe en doğru bir şekilde bilinmesi önem arz etmektedir. Ancak çeşitli nedenlerden dolayı çalışılan havzanın tamamına ait kar yükseklik ölçümleri alınamamaktadır. Bu nedenle çalışılan veya yakın başka bir havzadaki belirli bir kotta bilinen kar yüksekliğinin ihtiyaç duyulan başka bir noktada (kotta) hesaplanması gereği ortaya çıkmaktadır. Literatürde bunun için kullanılan üç yöntem aşağıda açıklanmıştır.

Birinci yöntemde, kar derinliğinin belirlenmesi düşünülen daha yüksekteki nokta için söz konusu nokta ile kar derinliği ölçülen nokta arasındaki kot farkının her 100 m'si için ölçülen kar derinliğine 5 cm'lik bir ekleme yapılır (Salm ve Gubler, 1992).

İkinci yöntem ise birinci yönteme alternatif olarak Naaim (1992) tarafından önerilmiş olup bu yöntemde hesaplama için Eş. 5.1 kullanılabilir (Naaim ve Ancey, 1992).

$$h(z) = \frac{h(z_0)}{2} \left( 1 + \frac{z}{z_0} \right) \frac{z}{z_0} \quad (5.1)$$

Burada;

$h(z)$  : z kotundaki kar derinliği (m)

$h(z_0)$  :  $z_0$  kotundaki kar derinliği (m)

$z, z_0$  : deniz seviyesinden olan yükselti (m)

Üçüncü yöntem için, ikinci yöntemdekine benzer bir diğer formül ise 1995 yılı Aralık ayında Rize ve Trabzon illerinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarından elde edilen sonuçlar neticesinde Koçyiğit (1997) tarafından önerilmiştir. Önerilen bu formül aşağıda verilmektedir.

$$h_T = h_0 + 2 \left( \frac{\Delta H}{1000} \right)^2 \quad (5.2)$$

Burada;

$h_T$  : tahmin edilen kar derinliği (m)

$h_0$  : ilk kottaki kar derinliği (m)

$\Delta H$  : iki nokta arasındaki kot farkı (m)

1519 m kotunda yer alan E05K001 Numaralı Kar Gözlem İstasyonunda, rasat yapılan tarihlerdeki ölçülmüş kar yükseklikleri dikkate alınarak 2159 m kotuna sahip Bozdağ zirvesi için aynı tarihlerdeki kar yükseklikleri yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılmak suretiyle hesaplanmış olup bulunan yükseklikler aşağıda verilmektedir (Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1. Ölçülen ve hesaplanan kar yükseklikleri

| Ölçüm Tarihleri | E05K001 Numaralı KGİ (1519 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(1)</sup> (2159 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(2)</sup> (2159 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(3)</sup> (2159 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(ort)</sup> (2159 m) |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                 | Kar Yükseklikleri (cm)        |                                        |                                        |                                        |                                          |
|                 | Ölçülen                       | Hesaplanan                             |                                        |                                        |                                          |
| 04.03.2005      | 70,10                         | 102,10                                 | 120,62                                 | 152,02                                 | 124,91                                   |
| 02.02.2006      | 41,30                         | 73,30                                  | 71,07                                  | 123,22                                 | 89,20                                    |
| 06.03.2006      | 40,90                         | 72,90                                  | 70,38                                  | 122,82                                 | 88,70                                    |
| 12.01.2007      | 11,50                         | 43,50                                  | 19,79                                  | 93,42                                  | 52,24                                    |
| 01.02.2007      | 7,40                          | 39,40                                  | 12,73                                  | 89,32                                  | 47,15                                    |
| 01.02.2008      | 23,90                         | 55,90                                  | 41,13                                  | 105,82                                 | 67,62                                    |
| 05.01.2009      | 20,50                         | 52,50                                  | 35,28                                  | 102,42                                 | 63,40                                    |



Çizelge 5.1. (devam) Ölçülen ve hesaplanan kar yükseklikleri

| Ölçüm Tarihleri | E05K001 Numaralı KGİ (1519 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(1)</sup> (2159 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(2)</sup> (2159 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(3)</sup> (2159 m) | Bozdağ Zirvesi <sup>(ort)</sup> (2159 m) |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                 | Kar Yükseklikleri (cm)        |                                        |                                        |                                        |                                          |
|                 | Ölçülen                       | Hesaplanan                             |                                        |                                        |                                          |
| 19.02.2009      | 70,00                         | 102,00                                 | 120,45                                 | 151,92                                 | 124,79                                   |
| 05.03.2009      | 76,70                         | 108,70                                 | 131,98                                 | 158,62                                 | 133,10                                   |
| 02.04.2009      | 48,20                         | 80,20                                  | 82,94                                  | 130,12                                 | 97,75                                    |
| 05.02.2010      | 44,20                         | 76,20                                  | 76,06                                  | 126,12                                 | 92,79                                    |
| 15.12.2010      | 24,50                         | 56,50                                  | 42,16                                  | 106,42                                 | 68,36                                    |
| 01.02.2011      | 17,60                         | 49,60                                  | 30,29                                  | 99,52                                  | 59,80                                    |
| 10.03.2011      | 53,20                         | 85,20                                  | 91,54                                  | 135,12                                 | 103,95                                   |
| 13.01.2015      | 23,00                         | 55,00                                  | 39,58                                  | 104,92                                 | 66,50                                    |
| 13.02.2015      | 57,00                         | 89,00                                  | 98,08                                  | 138,92                                 | 108,67                                   |
| 28.02.2015      | 48,20                         | 80,20                                  | 82,94                                  | 130,12                                 | 97,75                                    |
| 13.04.2015      | 10,00                         | 42,00                                  | 17,21                                  | 91,92                                  | 50,38                                    |
| 27.01.2016      | 32,00                         | 64,00                                  | 55,06                                  | 113,92                                 | 77,66                                    |
| 30.01.2017      | 110,00                        | 142,00                                 | 189,28                                 | 191,92                                 | 174,40                                   |

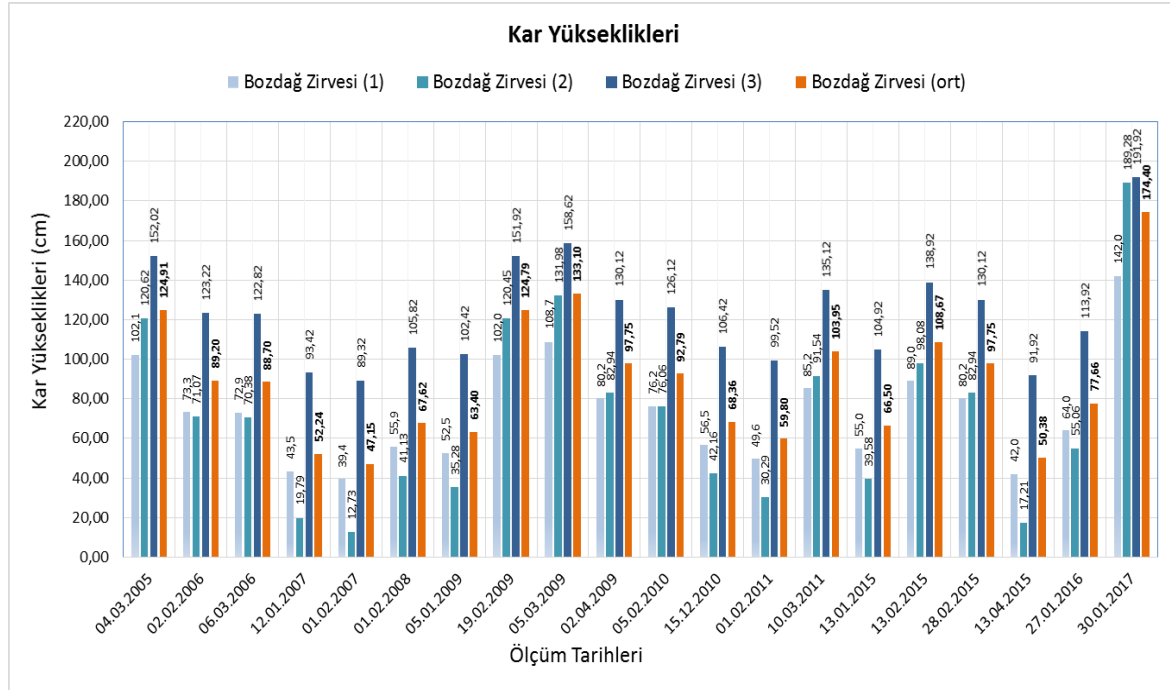
(1) : 1. Yöntem ile hesaplanan kar yüksekliği,

(2) : 2. Yöntem ile hesaplanan kar yüksekliği,

(3) : 3. Yöntem ile hesaplanan kar yüksekliği,

(ort): 3 yöntem ile hesaplanan yüksekliklerin aritmetik ortalamasıdır.

Çizelge 5.1’de verilen 2159 m kotuna sahip Bozdağ zirvesi için her üç yöntem ile hesaplanan kar yükseklikleri ile bunların aritmetik ortalamaları Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Bozdağ pilot bölgesi için kar yükseklikleri

Şekil 5.1’de de görüldüğü üzere her üç yöntem Bozdağ Zirvesi için birbirlerinden farklı sonuçlar vermiş olmakla birlikte yöreyi bilen uzman kişi görüşleri ile TÜBİTAK 1001 kapsamında yaklaşık 2070 m kotunda kurulan Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonundan elde edilen değerler dikkate alındığında söz konusu sonuçların mertebe olarak kabul edilebilir sınırlarda olduğu değerlendirilmiştir.



Resim 5.9. Bozdağ zirvesindeki çığ önlem yapıları

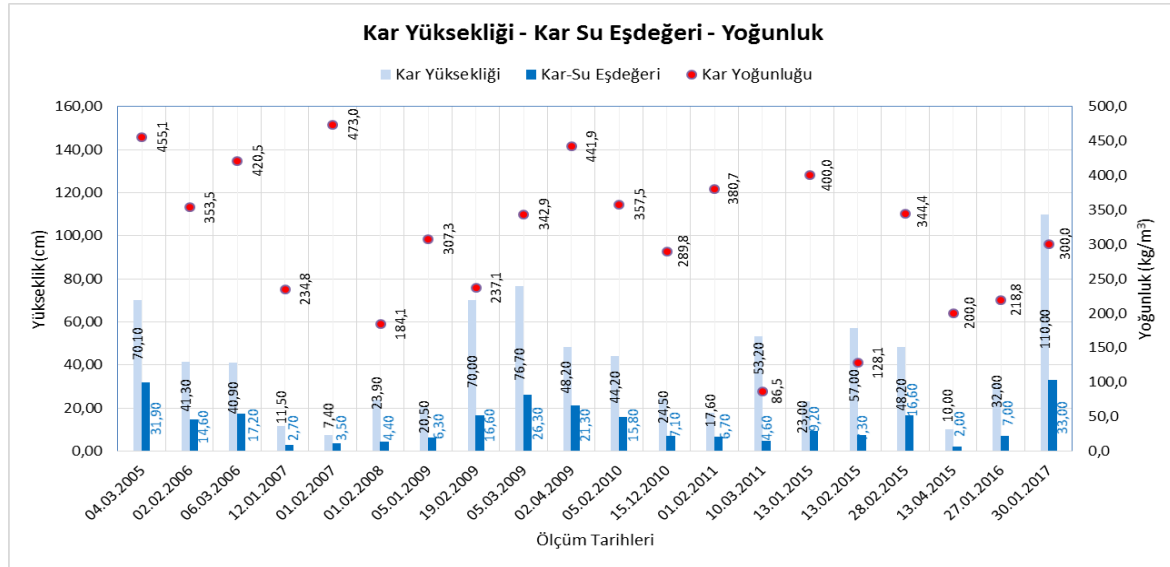


Resim 5.10. Bozdağ kayak merkezinde 20 Ocak 2013 tarihinde oluşan çığa ait kırılma hattı

Resim 5.9’da gösterilen Bozdağ zirvesinde bulunan çığ koruma yapılarının yüksekliği sahada 180 cm olarak ölçülmüştür. Resim 5.10’dan da görüleceği üzere, Bozdağ kayak merkezinde 20 Ocak 2013 tarihinde oluşan çığda, Resim 5.9’daki koruma yapılarının yüksekliği ile mukayese edilerek çığ kırılma hattının derinliği yaklaşık 160 – 200 cm aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Dolayısıyla, kar derinlikleri ve kopma derinlikleri için yöreye uygun aralıklar tespit edilmiş ve RAMMS programı ile yapılan model çalışmalarında bu aralıklarda kalınmıştır.

Yine, 1519 m kotunda yer alan ve halen DSİ tarafından işletilmekte olan E05K001 Numaralı Kar Gözlem İstasyonunda rasat yapılan tarihlerdeki ölçülmüş kar yükseklikleri ve kar-su eşdeğerleri kullanılmak suretiyle aynı tarihler için kar yoğunlukları hesaplanmış olup söz konusu değerler aşağıda grafik (Şekil 5.2) olarak verilmektedir.



Şekil 5.2. E05K001 Numaralı Kar Gözlem İstasyonunda rasat yapılan tarihlerdeki kar derinliği, söz konusu derinliklere tekabül eden kar-su eşdeğeri ve kar yoğunlukları

Şekil 5.2’den de görüleceği üzere bölgedeki kar yoğunluklarına bakıldığında en küçük kar yoğunluğunun 86,5 kg/m<sup>3</sup> ile 2011 yılının Mart ayında, en büyük kar yoğunluğunun ise 473,0 kg/m<sup>3</sup> ile 2007 yılının Şubat ayında ölçülmüştür. 2005 – 2017 yılları arası ölçülmüş 20 adet değer aritmetik ortalaması alındığında ise kar yoğunluğu 307,79 kg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Dolayısı ile RAMMS::Avalanche model çalışmalarında girilen kar yoğunluğu değerleri için yukarıda bahsedilen aralıkta kalınmasına dikkat edilmiştir.

## 5.2. Pilot Alana Ait Sayısal Altlıkların Oluşturulması

Bu tez kapsamında pilot alan olarak seçilen havzanın genel fiziksel karakteristiklerinin belirlenmesi, çığ başlama (kopma) bölgelerinin tespiti, çığ güzergahlarının tespiti, kopma bölgeleri ve güzergahları belirlenen çığ modellemelerini gerçekleştirmek için kullanılacak olan RAMMS::Avalanche yazılımının ihtiyaç duyduğu topoğrafik ve fiziksel tüm parametrelerin hazırlanması için Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinden ve ArcGIS yazılımından faydalanılmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri, Belediyelerden Üniversitelere, Kamu Kurum ve Kuruluşlarından Özel Sektöre kadar pek çok kesim tarafından planlama, proje ve işletme aşamalarında oldukça yaygın kullanım alanına sahip bir araçtır. Özellikle 1990'lı yılların ikinci yarısından itibaren Ülkemizde de kullanımı yaygınlaşan söz konusu araç, yaklaşık yarım asırlık bir geçmişe sahiptir.

Bilgisayarlarda kullanılan teknolojilerin gelişmesi ve görece olarak ucuzlaması, eski tarihli basılı altlıkların sayısal ortama aktarılması ve sayısal altlıkların kullanımının Kamu Kurum ve Kuruluşlarında yaygınlaşması dolayısıyla aracın ihtiyaç duyduğu sayısal altlık arşivinin zenginleşmesi ayrıca Kamu Kurum ve Kuruluşlarınca özel sektör marifeti ile yaptırılan yeni çalışmalarda/projelerde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımının teşvik edilmesi, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanım alanında artışa sebep olmuştur.

Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki tüm gelişmelere rağmen söz konusu teknolojinin anlamlı sonuçlar verebilmesi için verilerdeki eksikliklerin tamamlanması, doğru ve güvenilir bir veri altyapısının oluşturulması ve bu altyapının doğru şekilde kullanılabilir olması sağlanmalıdır.

Basılı haritalarda izohips veya eş yükselti eğrisi (kontur) formatında gösterilen yükseklikler, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) adıyla Grid veya TIN (Düzensiz Üçgen Ağ) olarak ifade edilir.

Öncelikle seçilen pilot alanlar için 1/25.000 ölçekli basılı standart topoğrafik haritalar kullanılarak üretilen sayısal eş yükselti eğrilerinden faydalanmak suretiyle ArcGIS programı ile, önce söz konusu haritalara ait TIN oluşturulmuş sonra da bundan faydalanarak istenilen hücre boyutlarında Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM'ler) elde edilmiştir (Resim 5.11).



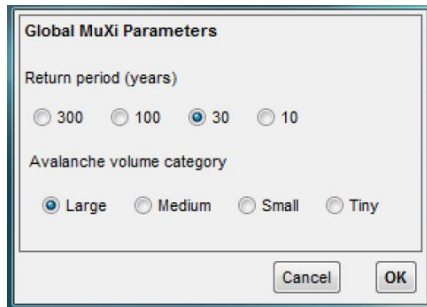


### 5.3. Pilot Alandaki Muhtemel Çığ Kopma Bölgelerinin Belirlenmesi

Çığ kopma bölgesinin (kırılarak harekete geçen alan) ve kopma derinliğinin (harekete geçen alanın ortalama derinliği) benzer diğer sayısal modellerde olduğu gibi RAMMS::Avalanche modelinde de çıktılar üzerine güçlü bir etkisi bulunmaktadır. Kopan bölgenin alansal büyüklüğü ve ortalama kopma derinliği bilindiğinde harekete geçen kar kütlesinin hacimsel büyüklüğü de tespit edilebilmektedir.

Çığ modellemesinde en önemli fiziksel parametrelerden birisi sürtünme parametresidir. Sürtünme parametreleri 4. Bölümde de bahsedildiği üzere Kuru-Coulomb tipi (Dry-Coulomb Type Friction) sürtünme ( $\mu$ ) ve viskoz türbülans (Viscous-Turbulent Friction) sürtünmesi ( $\xi$ ) olarak iki kısımdan oluşmaktadır. RAMMS::Avalanche modeli sürtünme katsayılarını ( $\mu$  ve  $\xi$ ) belirlerken kopan çığın hacmini, çığın tekerrür periyodunu, çığ akma güzergahının geometrisini ve rakımı dikkate almaktadır. Bununla ilgili tablo ( $\mu$  ve  $\xi$  tablosu) EK-1’de verilmektedir.

RAMMS::Avalanche modeli Global Parametreler olarak çığ tekerrür periyodu ve harekete geçen kar kütlesinin hacimsel büyüklüğünü kullanmaktadır (Resim 5.13). Global parametreler sürtünme değerlerini doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu nedenle model girdisi olarak öncelikle kopan veya kopması muhtemel bölgenin/bölgelerin alansal olarak doğru tespit edilmesi büyük önem arz etmektedir.



Resim 5.13. RAMMS programının global parametreleri

Çığlar ile ilgili yapılan çalışmalarda, çığın akma güzergâhı, akma uzunluğu, durma bölgesi ve yığılma derinliği gibi önemli karakteristik bilgiler arazi çalışmaları ile nispeten kolaylıkla elde edilebilirken, kopma bölgesinde kırılarak harekete geçen alan ve bu alanın ortalama derinliğine ait bilgilerin temini söz konusu bölgeye ulaşımın zor olması ve meteorolojik

muhalafet gibi nedenlerle oldukça zordur. Dolayısıyla kopma bölgesinin tespitinde, çalışılacak sahaya yapılmış olan karlı ve karsız dönemlere ait geziler, bu gezilerden elde edilen gözlemler, sahaya ait hava fotoğrafları ve varsa video kayıtları, o bölgede gerçekleşmiş tarihsel çığlara ait bilgi-belgeler, varsa konu hakkında bilgi sahibi yöre insanları ile yapılan görüşmeler, sayısal ve/veya basılı haritalar kullanılmalı yine çığ olayı ve dinamiği konusunda yeterli deneyime sahip aynı zamanda çalışılacak bölgeyi de iyi tanıyan uzman yardımı alınmalıdır.

Maggioni ve Gruber (2003) tarafından yapılan çalışma ile; Ortalama eğim, eğrisellik ve sırtlara olan uzaklık çığ kopma bölgesini etkileyen en önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada eğimin artmasının küçük çığların oluşma sıklığını artırdığı ifade edilmiştir.

Muhtemel kopma bölgeleri ve kırılarak harekete geçen alan ile birlikte kırılan alanın ortalama derinliği çalışılan bölgeyi temsil edebilecek bir şekilde tespit edilebilirse harekete geçen kar kütlesinin hacmi doğru bir şekilde belirlenmiş ve çığ olayı daha doğru bir şekilde modellenmiş olur. Doğru bir şekilde modellenmiş bir muhtemel çığ olayının gerçekleşmesi durumunda akım güzergâhı boyunca istenilen en-boy kesitlerde ve noktalarda gerçekleşmesi muhtemel dinamik etki basınçları, çığ akım derinlikleri ve çığ akım hızları doğru bir şekilde belirlenebilir.

Maggioni, Gruber ve Stoffel (2002) tarafından yapılan çalışmada, İsviçre'nin Davos bölgesinde 50 yılı aşkın bir süre boyunca 300 km<sup>2</sup>'lik bir alanda gerçekleşmiş olan yaklaşık 4500 adet çığa ait veriler kullanılarak olası kopma bölgelerinin tespitinde kullanılacak bir algoritma geliştirmişlerdir.

Söz konusu çalışmada, çalışma alanı için potansiyel çığ kopma bölgeleri CBS kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için yapılan çalışmada genel olarak aşağıda maddeler halinde verilen şu parametreler dikkate alınmıştır;

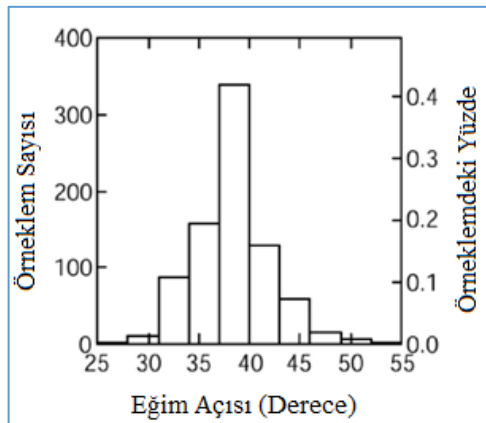
- Yamaç eğimi açılarının 30° - 60° arasında olması,
- Çığ kopma bölgelerinin arazideki ana sırtlarda bulunmaması,
- Çığ kopma bölgelerinin içbükey arazide bulunması (düzlemsel eğriselliğin - 0,2 değerinden daha küçük olduğu durumlar).

CBS kullanılarak elde edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin (SYM) hassasiyetleri ve arazinin gerçek durumuna yakınlıkları SYM'nin üretiminde kullanılan altlık haritanın ölçeği ve hassasiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Potansiyel kopma bölgesinin tayininde kullanılmak üzere SYM'den üretilecek eğim, bakı, yükseklik ve düzlemsel eğrisellik gibi haritalar için 1/25.000 ölçeğinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

### 5.3.1. Yamaç eğimi

Eğer çığın başlamasını engelleyecek yoğun bir orman örtüsü yok ise genel olarak çığlar eğim açısının 30 - 60 derece arasındaki arazilerde başlar (Salm, 1982). 30°'den daha düşük eğime sahip arazilerde çığı harekete geçirecek kuvvet bileşeninin direnç kuvvetlerine göre daha küçük olması nedeniyle bu eğimlerde hareket beklenmez. 60°'den daha büyük eğime sahip arazilerde ise arazinin çok dik olması nedeniyle çığı oluşturacak büyüklüklerde kar depolaması gerçekleşmez. Dolayısıyla arazinin eğimi potansiyel çığ kopma bölgelerinin sınırlarının belirlenmesinde etkin değerlerden birisidir.

Literatürde bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde doğal olarak başlayan çığlar, insan etkisi ile (kayakçı, dağcı, araştırmacılar vs.) başlatılan çığlar incelenmiş olup genel olarak çığ başlama eğim açılarının 28 – 55 derece aralığında olduğu ifade edilmekle birlikte, bir çok araştırmacı 28 ile 45 derece aralığını yeterli bulmuştur. Örneğin McClung ve Schaerer (1993) tarafından yapılan çalışmada 28 – 55 derece eğim aralıkları kullanılırken yine McClung (2013) tarafından yapılan benzer çalışmada tabii nedenlerle tetiklenen çığların kopma bölgesi eğim açılarının 25°'ye kadar düştüğünün de gözlemlendiği ifade edilmiştir.

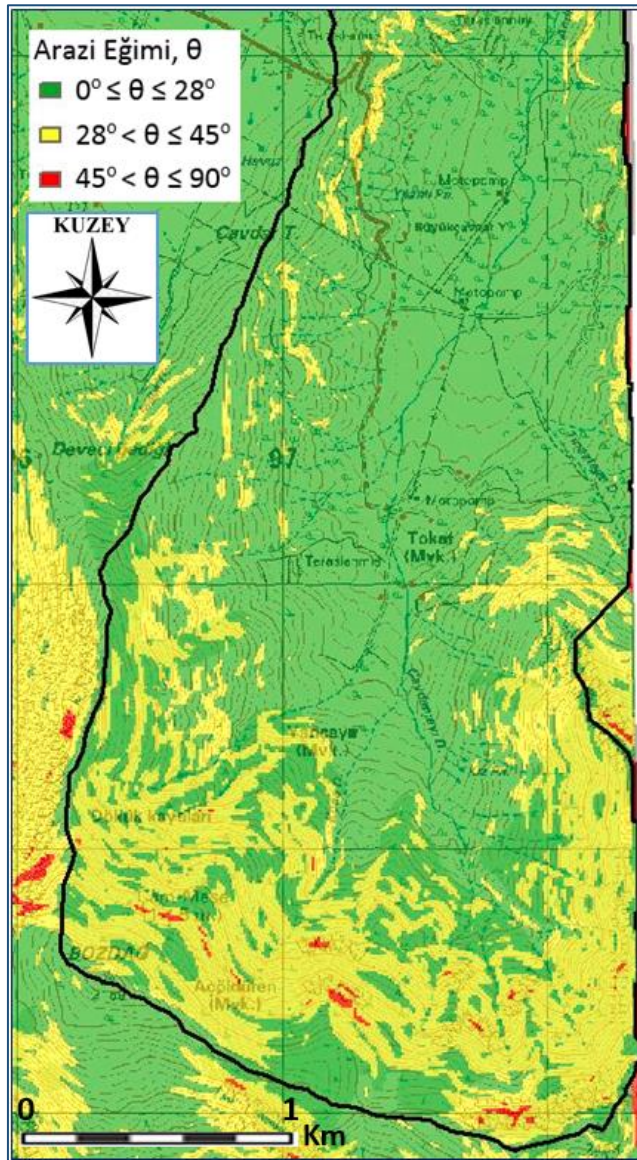


Şekil 5.3. Çığ başlama bölgesi için eğim açısının dağılımı (Schweizer ve diğerleri, 2003)



Schweizer ve diğerleri (2003) tarafından, 809 adet insan kaynaklı başlatılan çığlar örnekleminde başlama bölgesi eğiminin dağılımı incelenmiş ve elde edilen sonuç Şekil 5.3'te verilmiştir. Söz konusu şekilden de görüldüğü üzere örnekleimde bulunan 809 adet çığ başlangıcının çoğunun 30–45 derece eğim aralığına sahip arazide olduğu görülmektedir.

Bu tezde yapılan çalışmalar kapsamında, Bozdağ pilot alanı için potansiyel kopma (çığ başlangıç) bölgeleri tespitinde, 1/25.000 ölçekli SYM kullanılarak yapılan eğim analizlerde eğim kriteri olarak  $28^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  aralığı sırasıyla alt ve üst sınır değerleri olarak kullanılmış ve söz konusu değerler CBS yardımıyla tespit edilerek (Resim 5.14) kopma bölgelerinin tayininde ilk katman olarak değerlendirilmiştir.



Resim 5.14. Bozdağ pilot alanına ait eğim haritası

### 5.3.2. Bakı

Çığ kopma bölgesinin tespitinde kullanılan arazi parametrelerinden birisi de bakı etkisidir. Genel olarak kuzey yarım kürenin orta enlemlerinde bulunan dağlık arazilerde kuzeye bakan yamaçlar güneye bakan yamaçlara göre daha az güneş ışığı aldığından kuzeye bakan yamaçlar güneye bakan yamaçlara göre daha fazla kar örtüsü oluşumuna meyillidir.

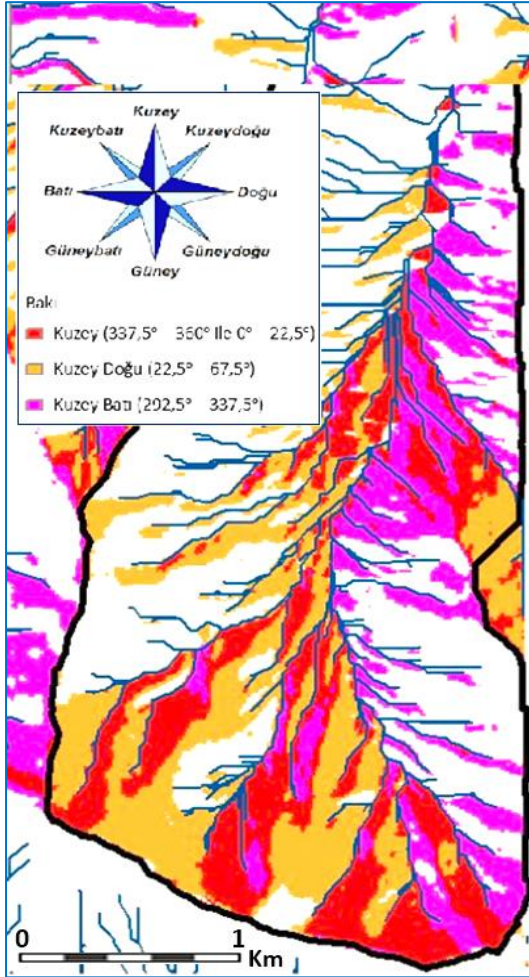
Bununla birlikte bölgedeki hâkim rüzgâr yönünün etkisi kar örtüsü dağılımını doğrudan etkileyebildiğinden bu iki parametre ve arazinin kış şartlarındaki durumu birlikte değerlendirilmelidir.

Bozdağ çalışma alanı özelinde kuzey yamacın güney yamaca göre daha fazla kar örtüsüne sahip olduğu görülmektedir (Resim 5.15).



Resim 5.15. Bozdağ zirvesinin kuzey (fotoğrafın sol tarafı) ve güney (fotoğrafın sağ tarafı) yamaçları

Bakının kopma bölgesinin tayinindeki etkisini, çalışılan alandaki gerçekleşmiş çığlara ait güzergâhlar, karlı dönemde özellikle kopma bölgesine yapılmış olan saha etütleri ve yöredeki hâkim rüzgâr etkisi ile birlikte değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır.



Resim 5.16. Bozdağ pilot alanına ait bakı haritası

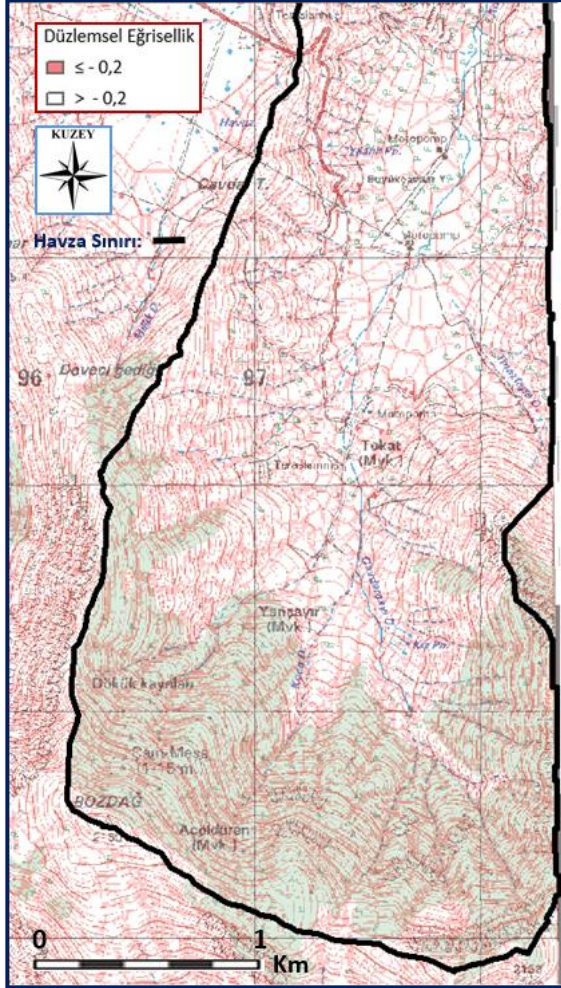
Bozdağ çalışma alanı için kuzey, kuzey-doğu, kuzey batı bakısına sahip alanların tespiti ArcGIS kullanılarak elde edilmiş olup Resim 5.16'da verilmektedir.

### 5.3.3. Eğrisellik

Maggioni ve diğerleri (2002) tarafından potansiyel çığ kopma alanlarının belirlenmesi ve karakterizasyonu amacıyla yapılan çalışmada, potansiyel çığ kopma alanlarının tespitinde kullanılmak üzere önerilen algoritmada planda eğriselliği -0.2 değerinden küçük değere sahip olan alanlar konkav olarak değerlendirilmiş olup bu alanlar potansiyel kopma alanları olarak kabul edilmiştir.



Bu tez kapsamında da potansiyel kopma alanları tespitinde eğrisellik etkisi yukarıda bahsedilen çalışmadaki kabul kullanılarak plandaki eğrisellik değeri -0.2'den küçük alanlar belirlenmiş ve potansiyel kopma bölgesi olarak değerlendirilmiştir.



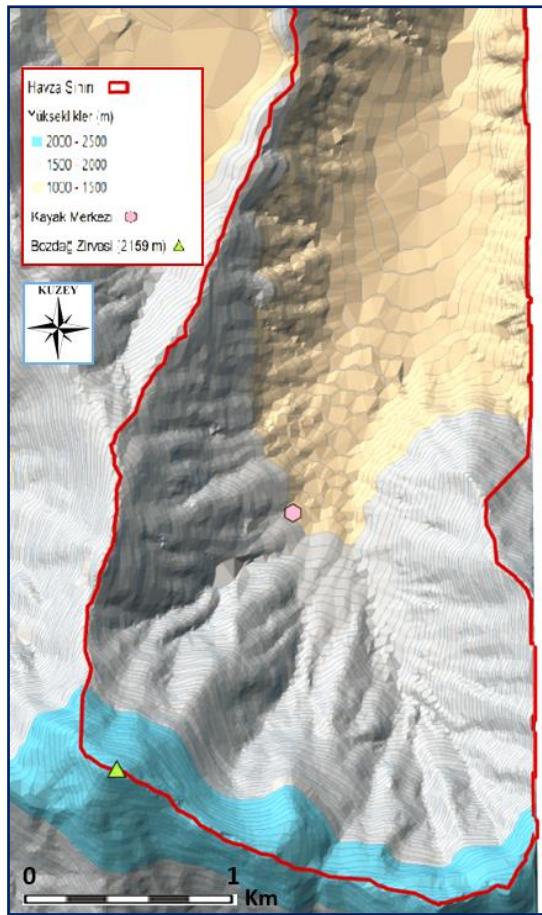
Resim 5.17. Bozdağ pilot alanına ait eğrisellik haritası

Bozdağ çalışma alanı için potansiyel kopma bölgeleri tayininde kullanmak üzere plandaki eğrisellik değişimi ArcGIS yazılımı kullanılmak suretiyle belirlenmiş olup Resim 5.17’de verilmektedir.

#### 5.3.4. Yükseklik

Mikroklima etkisi oluşturacak özel etmenlerin bulunmadığı durumlarda genel olarak deniz seviyesinden yükseldikçe sıcaklıkların düştüğü, buna paralel kar yağışının üst kotlara çıkıldıkça artış gösterdiği bilinen bir olgudur. Benzer şekilde bu durum Bozdağ pilot alanı için de geçerliliğini korumaktadır.

Pilot sahada yapılan arazi etütleri neticesinde geçmişteki çığ olaylarının 1500 m kotunun üzerinde gerçekleştiği, söz konusu çığlara ait kopma bölgelerinin ise 2000 m kotunun üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bozdağ pilot alanında 20 Ocak 2013 tarihinde meydana gelen çığa ait fotoğraftan (Resim 5.10) çığ önlem yapılarının bulunduğu kotlar dikkate alındığında kopma bölgesinin 2000 m kotunun üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla pilot alan için potansiyel kopma bölgeleri tespit edilirken söz konusu bölgelerin 2000 m kotunun üzerinde olacağı kabul edilmiştir. Bunun için Bozdağ pilot havzası ArcGIS yazılımı kullanılmak suretiyle yükseklik bölgelerine ayrılmıştır (Resim 5.18).



Resim 5.18. Bozdağ pilot alanına ait yükseklik haritası

### 5.3.5. Yamaç pürüzlülüğü

Potansiyel çığ kopma bölgelerinin tespitine yönelik kullanılan yükseklik, eğim, eğrisellik ve bakı gibi parametreler, örneğin ArcGIS yazılımı gibi CBS teknikleri kullanılarak doğrudan ve kolaylıkla oluşturulabiliyorken yamaç pürüzlülüğünün tespiti için arazi kullanım bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Arazi kullanımlarına ait bilgiler, Orman Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan meşcere haritalarından elde edilebilmektedir. Meşcere haritaları (forest stand maps); Ormanların, tarım arazilerinin ve yerleşim yerlerinin gösterildiği, ormanların ise meşcere tiplerine göre bölme ve bölmecik taksimatıyla ayrıntılı olarak gösterildiği, genellikle 1/25.000 ölçeğinde düzenlenen haritalardır. Söz konusu haritalar ağaç kapalılık oranı, ağaçların yükseklikleri, gövde kalınlıkları, ağaçların tipleri gibi bilgileri de içermektedir.

Pilot sahada yapılan arazi etütleri neticesinde gerek geçmişte yaşanmış çığ güzergahları üzerinde gerekse çalışılan çanakta dikkate değer bir bitki örtüsü bulunmadığı tespit edildiğinden (Resim 5.19) potansiyel çığ kopma bölgelerinin tespitinde meşcere haritası temini ve faydalanması yoluna gidilmemiştir.



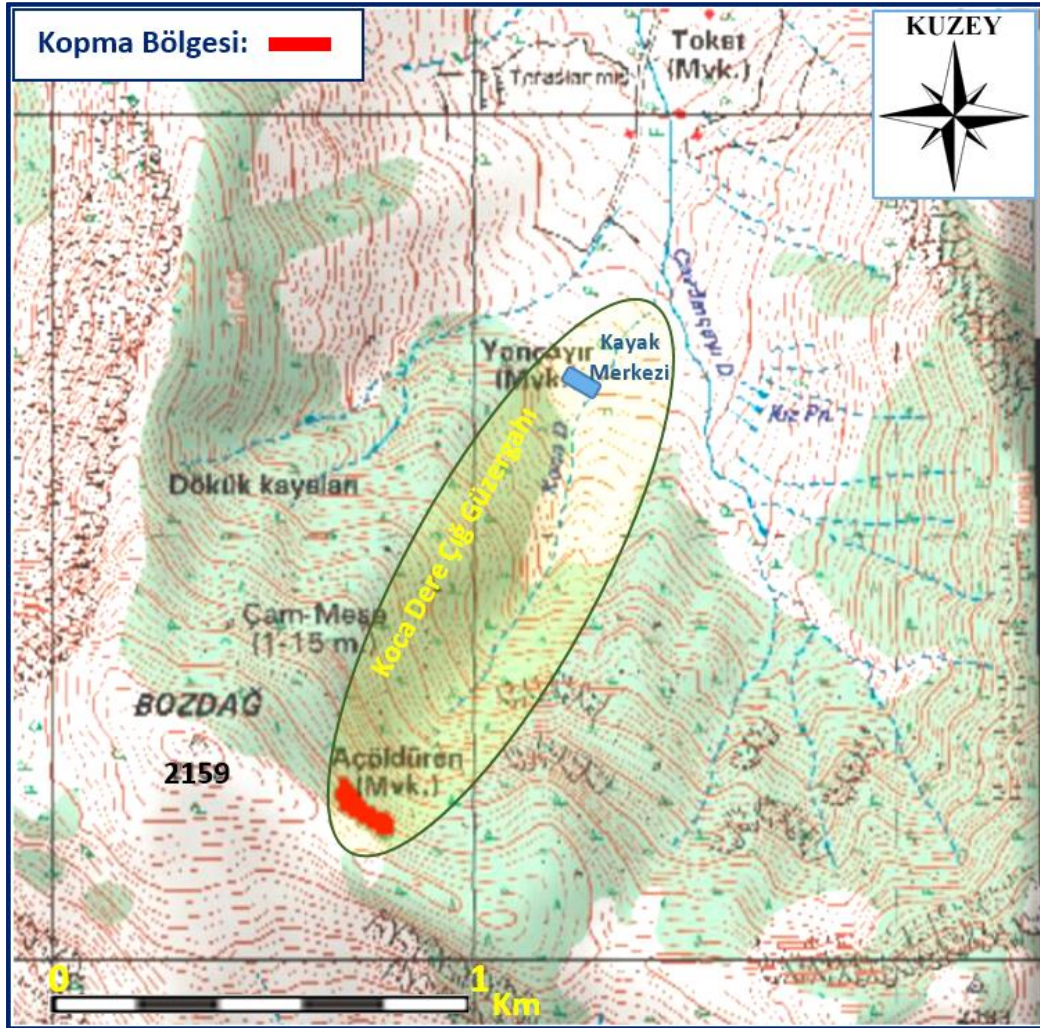
Resim 5.19. Bozdağ zirvesinden telesiyej ve kayak merkezini de kapsayacak şekilde çalışılan havzanın genel görünümü

Dolayısıyla, RAMMS programının çalıştırılması için zaruri bir bilgi olmayan orman bilgisi çalışılan sahada orman örtüsü bulunmadığı için programa dâhil edilmemiştir.

Bozdağ pilot alanı için yukarıda detaylı olarak anlatıldığı şekilde ArcGIS programı kullanılarak elde edilen haritalar, yine ArcGIS programında üst üste getirilmek suretiyle (çakıştırılarak) çığ başlangıç bölgeleri için aranan tüm kriterleri sağlayan potansiyel kopma bölgeleri filtrelenmiştir.



Pilot bölge için belirlenen potansiyel kopma bölgelerinden bir tanesi de daha önce 20 Ocak 2013 tarihinde çığ güzergâhı olarak kayda geçen, Kocadere'nin membaında Açöldüren mevki olarak adlandırılan bölgede yer almakta olup bu tez kapsamında yapılacak çalışmalarda kullanılmak üzere seçilmiş ve RAMMS programında kopma bölgesi olarak kullanılmıştır. Seçilen kopma bölgesi Resim 5.20'de kırmızı renk ile belirtilmiştir.



Resim 5.20. Kocadere çığ güzergâhı için seçilen potansiyel kopma bölgesi

#### 5.4. Seçilen Çığ Güzerghı ve Kopma Bölgesi İçin Yapılan Çalışmalar

Bozdağ pilot alanında çalışılmak üzere seçilen Kocadere çığ güzergâhında üç ana kapsamda çalışma gerçekleştirilmiştir.

İlk kapsamda RAMMS programının simülasyon oluşturmak için ihtiyaç duyduğu zaruri

girdilerden biri olan harita altlığı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamdaki çalışmalar ile söz konusu programın altlık olarak kullandığı, 1/25.000 ve 1/5.000 olmak üzere farklı harita ölçeklerinden 10 m x 10 m ile 20 m x 20 m olmak üzere farklı hücre boyutlarında üretilen ASCII dosyasının simülasyon sonuçlarını etkileyip etkilenmediği, olası etkilenme durumunda ise bunun ne şekilde olduğunun ortaya konulması hedeflenmiştir.

İkinci kapsamda yapılacak çalışmalar ile RAMMS programı tarafından Kocadere çığ güzergahında oluşturulacak simülasyon çıktılarının söz konusu güzergahta 20 Ocak 2013 tarihinde gerçekleşmiş çığa ait gerçek veriler ile karşılaştırılarak söz konusu programın seçilen pilot havzada başarılı sonuç verip veremediği araştırılacaktır.

Üçüncü kapsamda yapılacak çalışmalar ile çığ güzergahı için kütle merkezli bir model yazılacak, bu model 20 Ocak 2013 tarihinde gerçekleşmiş çığa ait gerçek veriler ile kalibre edilecek ve söz konusu model çıktıları ile RAMMS çıktıları mukayese edilecektir.

#### 5.4.1. Kullanılan haritanın simülasyon sonuçlarına etkisi

Öncelikle RAMMS programının harita altlığı olarak, 1/25.000 ve 1/5.000 ölçekli haritalardan faydalanılarak, ArcGIS programı vasıtası ile hücrelerin kenar uzunlukları 10 m x 10 m ve 20 m x 20 m olacak şekilde farklı büyüklükte hücrelere sahip (dolayısıyla farklı çözünürlüklerde) ASCII formatında 4 adet dosya oluşturulmuştur. ASCII formatında oluşturulan bu dosyalar altlık haritalar olarak RAMMS programına girilmiştir.

Bölüm 5.3'te bahsedildiği şekilde seçilen kopma bölgesi (Resim 5.20), RAMMS programına ASCII formatı olarak girilen bu altlık haritalar üzerinde çizilerek 'Release Area' adıyla kaydedilmiştir. Çizilen kopma bölgesinin alanı, ortalama yükseltisi ve ortalama eğimi RAMMS programı tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Kopma bölgesine ait temel karakteristik bilgiler

|                    |                                                                     |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Alan:              | 8900 m <sup>2</sup> (iz düşüm)<br>10752,8 m <sup>2</sup> (sahadaki) |
| Ortalama Yükselti: | 2066,05 m                                                           |
| Ortalama Eğim:     | 33,4780 °                                                           |



RAMMS programının girdi verilerinin arasında kopma bölgesine ait kar yoğunluğu ve kopma derinliği bilgileri de bulunmaktadır. Seçilen kopma bölgesi için kullanılacak kar yoğunluğu ve kopma derinliği değerleri Bölüm 5.1’de belirtilen aralıklarda seçilmiştir. Dolayısıyla, seçilen kopma bölgesindeki kar yoğunlukları için  $400 \text{ kg/m}^3$ ,  $350 \text{ kg/m}^3$ ,  $300 \text{ kg/m}^3$ ,  $250 \text{ kg/m}^3$  ve  $200 \text{ kg/m}^3$ ; kopma derinlikleri için ise 1,60 m, 1,40 m, 1,20 m, 1,00 m, 0,80 m ve 0,60 m değerleri ile çalışılmıştır.

Simülasyonlara girdi olarak verilmek üzere seçilen söz konusu kopma derinlikleri ve bu derinliklere tekabül eden çığların hacimleri Çizelge 5.3’te verilmektedir. Çizelge 5.3’ten de görüleceği üzere çalışılacak olan çığ simülasyonlarının hacimleri  $5.000 - 25.000 \text{ m}^3$  aralığında kalmakta olup söz konusu hacim aralığı RAMMS programı tarafından önerilen hacimsel sınıflandırmaya göre (Çizelge 4.2) küçük çığlar grubuna girmektedir. Dolayısıyla, programa simülasyon öncesi girilmesi zorunlu olan global parametrelerden çığ tekerrür periyodu RAMMS tarafından küçük çığlar için tekerrür periyodu olarak önerilen 30 yıl olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.3. Seçilen kopma bölgesi için çalışılan kopma derinlikleri ve bu derinliklere tekabül eden çığ hacimleri

| Kopma Derinliği (m) | Çığ Hacmi ( $\text{m}^3$ ) |
|---------------------|----------------------------|
| 1,60                | 17.204,48                  |
| 1,40                | 15.053,92                  |
| 1,20                | 12.903,36                  |
| 1,00                | 10.752,80                  |
| 0,80                | 8.602,24                   |
| 0,60                | 6.451,68                   |

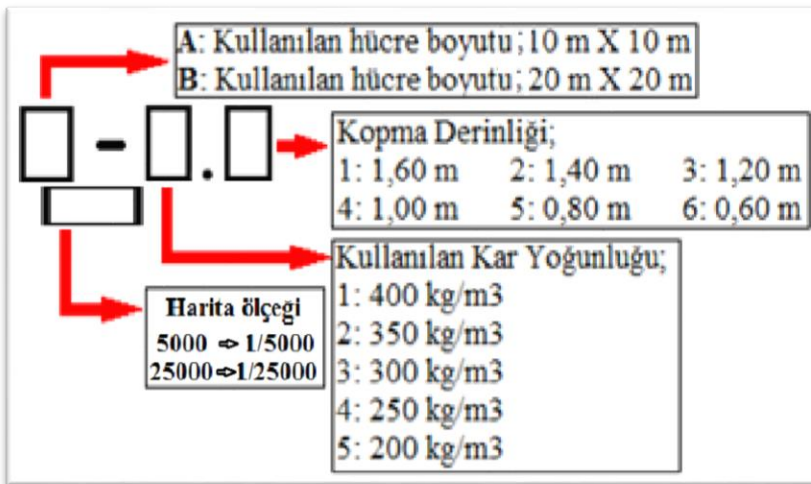
Simülasyonlar 1/5.000 ve 1/25.000 ölçekli haritalardan üretilen hem 10 m x 10 m hücre boyutlu (çözünürlüklü) altlıklarda hem de 20 m x 20 m hücre boyutlu (çözünürlüklü) altlıklarda ayrı ayrı gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar kayıt altına alınmıştır.

Kocadere olarak seçilen çığ güzergâhında aynı kopma alanı için; dört farklı altlık harita;  $400 \text{ kg/m}^3$ ,  $350 \text{ kg/m}^3$ ,  $300 \text{ kg/m}^3$ ,  $250 \text{ kg/m}^3$  ve  $200 \text{ kg/m}^3$  olmak üzere beş farklı kar

yoğunluğu; 1,60 m, 1,40 m, 1,20 m, 1,00 m, 0,80 m ve 0,60 m olacak şekilde altı farklı kopma derinliği çalışıldığından toplamda 120 adet farklı simülasyon elde edilmiştir.

TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında 4 yıl süre ile kullanım lisansı satın alınan RAMMS programı, 256 GB SSD sabit belleğe, 8 GB DDR3 RAM kapasitesine, Intel® Core™ i7 vPro™ 2 GHz işlemciye ve Windows 10 Pro 64-bit işletim sistemine sahip Lenovo X1 Carbon marka taşınabilir kişisel bilgisayara kurulmuş olup tez kapsamında gerçekleştirilen söz konusu simülasyonlar bu bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar için gerekli girdilerin hazırlanması hariç olmak üzere bir simülasyonun çalıştırılması için gereken ortalama süre kullanılan altlığın hücre boyutu ve hesap etki alanı büyüklüğüne göre değişmekle birlikte yaklaşık 6 - 8 dakika kadardır.

Söz konusu simülasyonlar, değerlendirme yapılırken herhangi bir karışıklığa mahal vermemek için Resim 5.21’de gösterildiği şekilde kodlanmıştır. Bu kodlama sistemine göre soldan ilk kutucuğa, çalışmada kullanılan altlığın hücre boyutu 10 m x 10 m ise ‘A’, hücre boyutu 20 m x 20 m ise ‘B’ harfi yazılmıştır. Bu kutucuğun altında yatay olarak verilen alt indis kutucuğuna kullanılan altlığın üretildiği harita ölçeği 1/5.000 ise 5000, 1/25.000 ise 25000 yazılmıştır. Soldan ikinci kutucuğa kar yoğunlukları; 400 kg/m<sup>3</sup> ise 1, 350 kg/m<sup>3</sup> ise 2, 300 kg/m<sup>3</sup> ise 3, 250 kg/m<sup>3</sup> ise 4 ve 200 kg/m<sup>3</sup> ise 5 rakamı girilmiştir. Benzer şekilde en sağdaki kutucuğa da kopma derinlikleri; 1,60 m ise 1, 1,40 m ise 2, 1,20 m ise 3, 1,00 m ise 4, 0,80 m ise 5 ve 0,60 m ise 6 rakamı girilmiştir.



Resim 5.21. Simülasyon kodlama sistemi

Örneğin bu kodlama sistemine göre  $A_{25000} - 1.1$  olarak kodlanan çizelgedeki (Çizelge 5.4) sonuçlar, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlıkta, 400 kg/m<sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyona ait sonuçlardır.

Çalışılan çığ güzergâhı ve kopma bölgesi için simülasyon sonucunda elde edilen maksimum değerler (kar derinliği, çığ hızı ve basıncı) aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 5.4 – 5.23) verilmektedir.

Bu çizelgelerde ‘h’ koparak harekete geçen kar kütlelerinin ortalama kar derinliğini, ‘ $h_{max}$ ’ çığ güzergâhında hesaplanan en büyük kar derinliğini, ‘ $V_{max}$ ’ çığ güzergâhında hesaplanan en büyük çığ hızını, , ‘ $P_{max}$ ’ çığ güzergâhında hesaplanan en büyük çığ basıncını ifade etmektedir.

Çizelge 5.4. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| $A_{25000} -1$ | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, $h_{max}$ (m) | Maksimum Hız,<br>$V_{max}$ (m/s) | Maksimum Basıncı,<br>$P_{max}$ (kPa) |
|----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1              | 1,60                                         | 4,08                                | 31,87                            | 406,33                               |
| 2              | 1,40                                         | 3,82                                | 30,98                            | 383,94                               |
| 3              | 1,20                                         | 3,63                                | 29,9                             | 357,59                               |
| 4              | 1,00                                         | 3,38                                | 28,46                            | 323,93                               |
| 5              | 0,80                                         | 2,96                                | 26,55                            | 282,02                               |
| 6              | 0,60                                         | 2,47                                | 23,86                            | 227,75                               |

Çizelge 5.5. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| $A_{25000} -2$ | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, $h_{max}$ (m) | Maksimum Hız,<br>$V_{max}$ (m/s) | Maksimum Basıncı,<br>$P_{max}$ (kPa) |
|----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1              | 1,60                                         | 4,08                                | 31,87                            | 355,54                               |
| 2              | 1,40                                         | 3,82                                | 30,98                            | 335,94                               |
| 3              | 1,20                                         | 3,63                                | 29,90                            | 312,89                               |
| 4              | 1,00                                         | 3,38                                | 28,46                            | 283,44                               |

Çizelge 5.5. (devam) 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| $A_{25000} -2$ | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, $h_{\max}$ (m) | Maksimum Hız,<br>$V_{\max}$ (m/s) | Maksimum Basınç,<br>$P_{\max}$ (kPa) |
|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 5              | 0,80                                         | 2,96                                 | 26,55                             | 246,77                               |
| 6              | 0,60                                         | 2,47                                 | 23,86                             | 199,28                               |

Çizelge 5.6. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| $A_{25000} -3$ | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, $h_{\max}$ (m) | Maksimum Hız,<br>$V_{\max}$ (m/s) | Maksimum Basınç,<br>$P_{\max}$ (kPa) |
|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1              | 1,60                                         | 4,08                                 | 31,87                             | 304,75                               |
| 2              | 1,40                                         | 3,82                                 | 30,98                             | 287,95                               |
| 3              | 1,20                                         | 3,63                                 | 29,90                             | 268,19                               |
| 4              | 1,00                                         | 3,38                                 | 28,46                             | 242,95                               |
| 5              | 0,80                                         | 2,96                                 | 26,55                             | 211,51                               |
| 6              | 0,60                                         | 2,47                                 | 23,86                             | 170,81                               |

Çizelge 5.7. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| $A_{25000} -4$ | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, $h_{\max}$ (m) | Maksimum Hız,<br>$V_{\max}$ (m/s) | Maksimum Basınç,<br>$P_{\max}$ (kPa) |
|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1              | 1,60                                         | 4,08                                 | 31,87                             | 253,95                               |
| 2              | 1,40                                         | 3,82                                 | 30,98                             | 239,96                               |
| 3              | 1,20                                         | 3,63                                 | 29,90                             | 223,49                               |
| 4              | 1,00                                         | 3,38                                 | 28,46                             | 202,46                               |
| 5              | 0,80                                         | 2,96                                 | 26,55                             | 176,26                               |
| 6              | 0,60                                         | 2,47                                 | 23,86                             | 142,34                               |

Çizelge 5.8. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> - 5 | Ortalama Başlangıç Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç, P <sub>max</sub> (kPa) |
|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                      | 1,60                                      | 4,08                                    | 31,87                                | 203,16                                  |
| 2                      | 1,40                                      | 3,82                                    | 30,98                                | 191,97                                  |
| 3                      | 1,20                                      | 3,63                                    | 29,90                                | 178,79                                  |
| 4                      | 1,00                                      | 3,38                                    | 28,46                                | 161,97                                  |
| 5                      | 0,80                                      | 2,96                                    | 26,55                                | 141,01                                  |
| 6                      | 0,60                                      | 2,47                                    | 23,86                                | 113,87                                  |

Çizelge 5.9. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> - 1 | Ortalama Başlangıç Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç, P <sub>max</sub> (kPa) |
|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                      | 1,60                                      | 3,00                                    | 27,91                                | 311,52                                  |
| 2                      | 1,40                                      | 2,73                                    | 26,82                                | 287,65                                  |
| 3                      | 1,20                                      | 2,40                                    | 25,47                                | 259,48                                  |
| 4                      | 1,00                                      | 2,08                                    | 23,89                                | 228,26                                  |
| 5                      | 0,80                                      | 1,72                                    | 21,89                                | 191,68                                  |
| 6                      | 0,60                                      | 1,33                                    | 19,31                                | 149,11                                  |

Çizelge 5.10. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -2 | Ortalama Başlangıç Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç, P <sub>max</sub> (kPa) |
|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                     | 1,60                                      | 3,00                                    | 27,91                                | 272,58                                  |
| 2                     | 1,40                                      | 2,73                                    | 26,82                                | 251,69                                  |

Çizelge 5.10. (devam) 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -2 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub> (kPa) |
|-----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 3                     | 1,20                                         | 2,40                                       | 25,47                                   | 227,04                                     |
| 4                     | 1,00                                         | 2,08                                       | 23,89                                   | 199,73                                     |
| 5                     | 0,80                                         | 1,72                                       | 21,89                                   | 167,72                                     |
| 6                     | 0,60                                         | 1,33                                       | 19,31                                   | 130,47                                     |

Çizelge 5.11. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -3 | Ortalama<br>Başlangıç Kopma<br>Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum<br>Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                     | 1,60                                            | 3,00                                          | 27,91                                      | 233,64                                        |
| 2                     | 1,40                                            | 2,73                                          | 26,82                                      | 215,73                                        |
| 3                     | 1,20                                            | 2,40                                          | 25,47                                      | 194,61                                        |
| 4                     | 1,00                                            | 2,08                                          | 23,89                                      | 171,20                                        |
| 5                     | 0,80                                            | 1,72                                          | 21,89                                      | 143,76                                        |
| 6                     | 0,60                                            | 1,33                                          | 19,31                                      | 111,83                                        |

Çizelge 5.12. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> - 4 | Ortalama<br>Başlangıç Kopma<br>Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum<br>Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                      | 1,60                                            | 3,00                                          | 27,91                                      | 194,70                                        |
| 2                      | 1,40                                            | 2,73                                          | 26,82                                      | 179,78                                        |
| 3                      | 1,20                                            | 2,40                                          | 25,47                                      | 162,17                                        |

Çizelge 5.12. (devam) 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> - 4 | Ortalama Başlangıç Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç, P <sub>max</sub> (kPa) |
|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 4                      | 1,00                                      | 2,08                                    | 23,89                                | 142,66                                  |
| 5                      | 0,80                                      | 1,72                                    | 21,89                                | 119,80                                  |
| 6                      | 0,60                                      | 1,33                                    | 19,31                                | 93,19                                   |

Çizelge 5.13. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> - 5 | Ortalama Başlangıç Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç, P <sub>max</sub> (kPa) |
|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                      | 1,60                                      | 3,00                                    | 27,91                                | 155,76                                  |
| 2                      | 1,40                                      | 2,73                                    | 26,82                                | 143,82                                  |
| 3                      | 1,20                                      | 2,40                                    | 25,47                                | 129,74                                  |
| 4                      | 1,00                                      | 2,08                                    | 23,89                                | 114,13                                  |
| 5                      | 0,80                                      | 1,72                                    | 21,89                                | 95,84                                   |
| 6                      | 0,60                                      | 1,33                                    | 19,31                                | 74,55                                   |

Çizelge 5.14. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000</sub> -1 | Ortalama Başlangıç Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç, P <sub>max</sub> (kPa) |
|----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1                    | 1,60                                      | 4,62                                    | 32,19                                | 414,49                                  |
| 2                    | 1,40                                      | 3,77                                    | 30,81                                | 379,64                                  |
| 3                    | 1,20                                      | 3,27                                    | 29,14                                | 339,59                                  |
| 4                    | 1,00                                      | 2,88                                    | 27,19                                | 295,67                                  |



Çizelge 5.14. (devam) 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000-1</sub> | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h<br>(m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 5                   | 0,80                                            | 2,61                                          | 25,23                                      | 254,54                                        |
| 6                   | 0,60                                            | 2,31                                          | 23,15                                      | 214,35                                        |

Çizelge 5.15. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000-2</sub> | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h<br>(m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                   | 1,60                                            | 4,62                                          | 32,19                                      | 362,68                                        |
| 2                   | 1,40                                            | 3,77                                          | 30,81                                      | 332,19                                        |
| 3                   | 1,20                                            | 3,27                                          | 29,14                                      | 297,14                                        |
| 4                   | 1,00                                            | 2,88                                          | 27,19                                      | 258,71                                        |
| 5                   | 0,80                                            | 2,61                                          | 25,23                                      | 222,72                                        |
| 6                   | 0,60                                            | 2,31                                          | 23,15                                      | 187,55                                        |

Çizelge 5.16. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000-3</sub> | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h<br>(m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                   | 1,60                                            | 4,62                                          | 32,19                                      | 310,87                                        |
| 2                   | 1,40                                            | 3,77                                          | 30,81                                      | 284,73                                        |
| 3                   | 1,20                                            | 3,27                                          | 29,14                                      | 254,69                                        |
| 4                   | 1,00                                            | 2,88                                          | 27,19                                      | 221,75                                        |

Çizelge 5.16. (devam) 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000-3</sub> | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h<br>(m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 5                   | 0,80                                            | 2,61                                          | 25,23                                      | 190,90                                        |
| 6                   | 0,60                                            | 2,31                                          | 23,15                                      | 160,76                                        |

Çizelge 5.17. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000-4</sub> | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h<br>(m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                   | 1,60                                            | 4,62                                          | 32,19                                      | 259,05                                        |
| 2                   | 1,40                                            | 3,77                                          | 30,81                                      | 237,28                                        |
| 3                   | 1,20                                            | 3,27                                          | 29,14                                      | 212,24                                        |
| 4                   | 1,00                                            | 2,88                                          | 27,19                                      | 184,79                                        |
| 5                   | 0,80                                            | 2,61                                          | 25,23                                      | 159,09                                        |
| 6                   | 0,60                                            | 2,31                                          | 23,15                                      | 133,97                                        |

Çizelge 5.18. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| A <sub>5000-5</sub> | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub> (kPa) |
|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                   | 1,60                                         | 4,62                                       | 32,19                                   | 207,24                                     |
| 2                   | 1,40                                         | 3,77                                       | 30,81                                   | 189,82                                     |
| 3                   | 1,20                                         | 3,27                                       | 29,14                                   | 169,79                                     |
| 4                   | 1,00                                         | 2,88                                       | 27,19                                   | 147,83                                     |
| 5                   | 0,80                                         | 2,61                                       | 25,23                                   | 127,27                                     |
| 6                   | 0,60                                         | 2,31                                       | 23,15                                   | 107,17                                     |

Çizelge 5.19. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>5000</sub> -1 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|----------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                    | 1,60                                         | 3,33                                          | 27,64                                      | 305,51                                        |
| 2                    | 1,40                                         | 3,08                                          | 26,54                                      | 281,75                                        |
| 3                    | 1,20                                         | 2,73                                          | 25,35                                      | 257,02                                        |
| 4                    | 1,00                                         | 2,31                                          | 24,09                                      | 232,05                                        |
| 5                    | 0,80                                         | 2,19                                          | 22,49                                      | 202,23                                        |
| 6                    | 0,60                                         | 1,72                                          | 20,28                                      | 164,49                                        |

Çizelge 5.20. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>5000</sub> -2 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub> (kPa) |
|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                    | 1,60                                         | 3,33                                       | 27,64                                   | 267,32                                     |
| 2                    | 1,40                                         | 3,08                                       | 26,54                                   | 246,53                                     |
| 3                    | 1,20                                         | 2,73                                       | 25,35                                   | 224,89                                     |
| 4                    | 1,00                                         | 2,31                                       | 24,09                                   | 203,04                                     |
| 5                    | 0,80                                         | 2,19                                       | 22,49                                   | 176,95                                     |
| 6                    | 0,60                                         | 1,72                                       | 20,28                                   | 143,93                                     |

Çizelge 5.21. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>5000</sub> -3 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub> (kPa) |
|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                    | 1,60                                         | 3,33                                       | 27,64                                   | 229,14                                     |
| 2                    | 1,40                                         | 3,08                                       | 26,54                                   | 211,31                                     |
| 3                    | 1,20                                         | 2,73                                       | 25,35                                   | 192,77                                     |

Çizelge 5.21. (devam) 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>5000</sub> -3 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub> (kPa) |
|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 4                    | 1,00                                         | 2,31                                       | 24,09                                   | 174,03                                     |
| 5                    | 0,80                                         | 2,19                                       | 22,49                                   | 151,67                                     |
| 6                    | 0,60                                         | 1,72                                       | 20,28                                   | 123,37                                     |

Çizelge 5.22. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 250 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>5000</sub> -4 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h<br>(m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum<br>Basınç, P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1                    | 1,60                                            | 3,33                                          | 27,64                                      | 190,95                                        |
| 2                    | 1,40                                            | 3,08                                          | 26,54                                      | 176,09                                        |
| 3                    | 1,20                                            | 2,73                                          | 25,35                                      | 160,64                                        |
| 4                    | 1,00                                            | 2,31                                          | 24,09                                      | 145,03                                        |
| 5                    | 0,80                                            | 2,19                                          | 22,49                                      | 126,39                                        |
| 6                    | 0,60                                            | 1,72                                          | 20,28                                      | 102,81                                        |

Çizelge 5.23. 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için farklı kopma derinliklerinde başlatılan simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler

| B <sub>5000</sub> -5 | Ortalama Başlangıç<br>Kopma Derinliği, h (m) | Maksimum<br>Derinlik, h <sub>max</sub> (m) | Maksimum Hız,<br>V <sub>max</sub> (m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub> (kPa) |
|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                    | 1,60                                         | 3,33                                       | 27,64                                   | 152,76                                     |
| 2                    | 1,40                                         | 3,08                                       | 26,54                                   | 140,88                                     |
| 3                    | 1,20                                         | 2,73                                       | 25,35                                   | 128,51                                     |
| 4                    | 1,00                                         | 2,31                                       | 24,09                                   | 116,02                                     |
| 5                    | 0,80                                         | 2,19                                       | 22,49                                   | 101,12                                     |
| 6                    | 0,60                                         | 1,72                                       | 20,28                                   | 82,25                                      |

Yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçların özetlendiği Çizelge 5.4 - 5.23'te verilen maksimum değerler incelendiğinde;

- Aynı harita altlığı kullanıldığında, aynı kopma derinlikleri için elde edilen maksimum derinlik ve maksimum hızların aynı olduğu ve kar yoğunluğu değişimlerinden etkilenmediği ancak kar yoğunluğunun azalmasıyla maksimum basınçların da küçüldüğü görülmüştür. Örneğin,  $A_{25000} - 1.1$ ,  $A_{25000} - 2.1$ ,  $A_{25000} - 3.1$ ,  $A_{25000} - 4.1$  ve  $A_{25000} - 5.1$  simülasyonlarının altlık haritaları (1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık) ve kopma derinlikleri (1.60 m) aynı, kar yoğunlukları ise kodlama sisteminde anlatıldığı gibi  $400 \text{ kg/m}^3 - 200 \text{ kg/m}^3$  aralığında değişmektedir. Söz konusu simülasyonların sonuçları sırasıyla Çizelge 5.4 – 5.8'in ilk satırlarında gösterilmektedir. Buradaki  $h_{\max}$  ve  $V_{\max}$  değerlerinin aynı olduğu ve yoğunluk değişiminden etkilenmediği görülmektedir. Basınç değerleri dikkate alındığında ise kar yoğunluğunun küçülmesi ile birlikte  $P_{\max}$  değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Yoğunluğun küçülme oranı ile  $P_{\max}$  değerlerinin küçülme oranı aynıdır. Örneğin yoğunluk  $400 \text{ kg/m}^3$ 'ten  $350 \text{ kg/m}^3$ 'e %12,5 oranında azaldığı durumda  $P_{\max}$  değerleri sırasıyla 406,33 kPa'dan 355,54 kPa'a %12,5 oranında azalmaktadır.

- Aynı harita altlıklarında, aynı kar yoğunlukları için kopma derinlikleri küçüldükçe elde edilen maksimum çığ derinliklerinin, hızların ve basınçlarının da küçüldüğü görülmüştür. Örneğin, sonuçları Çizelge 5.4'te verilen  $A_{25000} - 1.1$ ,  $A_{25000} - 1.2$ ,  $A_{25000} - 1.3$ ,  $A_{25000} - 1.4$ ,  $A_{25000} - 1.5$  ve  $A_{25000} - 1.6$  simülasyonlarının altlık haritaları (1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık) ve yoğunlukları ( $400 \text{ kg/m}^3$ ) aynı, kopma derinlikleri ise kodlama sisteminde anlatıldığı gibi 1.60 m - 0.60 m aralığında değişmektedir. Çizelge 5.4'te verilen sonuçlara dikkat edilirse kopma derinlikleri küçüldükçe elde edilen maksimum çığ derinliklerinin, hızlarının ve basınçlarının da küçüldüğü görülmektedir. Örneğin kopma derinliğinin 1,60 m'den 0,80 m'ye %50 oranında küçülmesi durumunda elde edilen  $h_{\max}$  değerleri 4,08 m'den 2,96 m'ye %27,5 oranında;  $V_{\max}$  değerleri 31,87 m/s'den 26,55 m/s'ye %16,7 oranında;  $P_{\max}$  değerleri ise 406,33 kPa'dan 282,02 kPa'a %30,6 oranında küçülmektedir.

- Simülasyonlarda kullanılan aynı kar yoğunluğu ve kopma derinlikleri için hem 1/25.000 hem de 1/5.000 ölçekli haritalardan üretilen altlıkların hücre boyutu büyüdükçe simülasyon sonucu elde edilen maksimum çığ derinliklerinin, maksimum hızlarının ve maksimum basınçlarının küçüldüğü görülmüştür. Örneğin, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen maksimum değerler (Çizelge 5.4'te verilen simülasyon  $A_{25000} - 1.1$  sonuçları) , 1/25.000 ölçekli haritadan

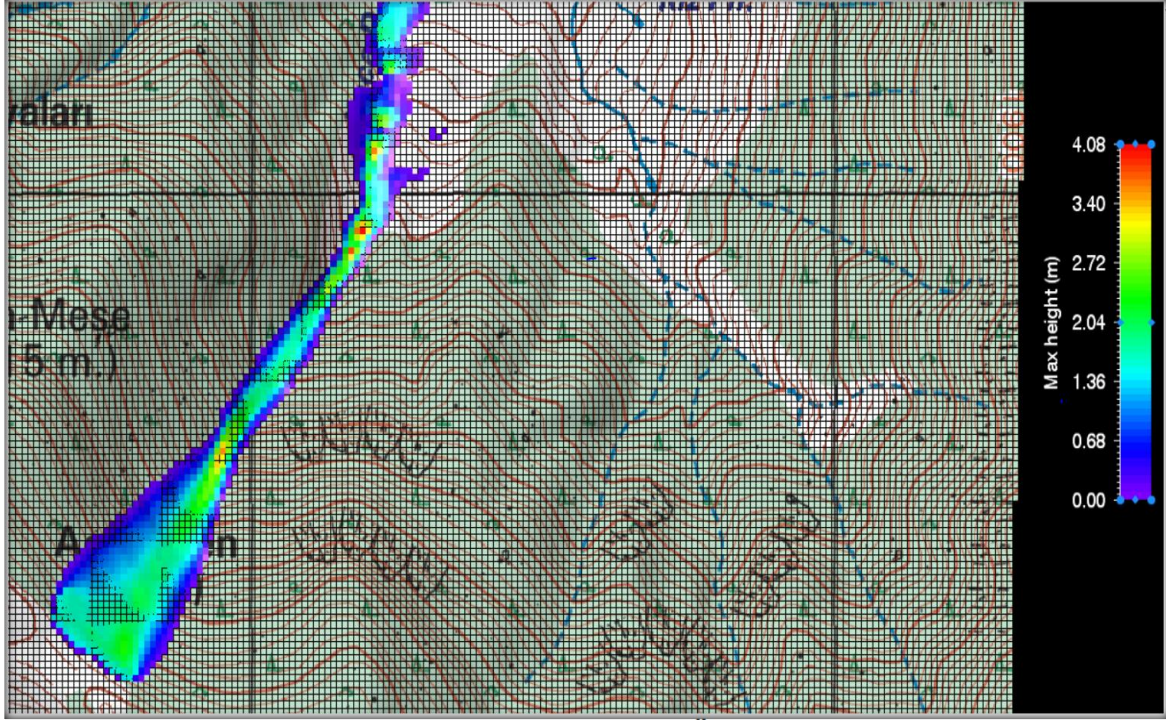
üretile 20 m x 20 m hücre boyutlu altlık üzerinde,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip olan kar kütlesi için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen maksimum değerlerden (Çizelge 5.9'da verilen simülasyon B<sub>25000</sub> – 1.1 sonuçları) daha büyüktür. Örneğin, A<sub>25000</sub> – 1.1 simülasyonundan elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerleri B<sub>25000</sub> – 1.1 simülasyonundan elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinden sırasıyla % 36, % 14 ve % 30 oranında daha büyüktür.

- Farklı ölçekli haritalardan (1/25.000 ve 1/5.000) üretilmiş olsa da aynı hücre boyutlu (10 m x 10 m veya 20 m x 20 m) coğrafi altlığın kullanıldığı simülasyonların verdiği çıktılar birbirlerinden farklı olmakla birlikte söz konusu farkın çıktılarla mukayese edildiğinde çok fazla olmadığı görülmüştür. A<sub>25000</sub> ile A<sub>5000</sub> harita altlıklarında üretilen  $h_{\max}$ 'ların farkları % 1,3 – 17,4 arasında,  $V_{\max}$ 'ların farkları % 0,6 – 5,2 arasında ve  $P_{\max}$ 'ların farkları da % 1,1 – 10,8 arasında; B<sub>25000</sub> ile B<sub>5000</sub> harita altlıklarında üretilen  $h_{\max}$ 'ların farkları % 9,9 – 22,7 arasında,  $V_{\max}$ 'ların farkları % 0,5 – 4,8 arasında ve  $P_{\max}$ 'ların farkları da % 1,0 – 9,4 arasında olmaktadır. Örneğin; A<sub>5000</sub> – 1.1 simülasyonu (Çizelge 5.14) sonucu elde edilen  $h_{\max}$  (4.62 m),  $V_{\max}$  ( 32.19 m/s) ve  $P_{\max}$  (414.49 kPa) değerleri A<sub>25000</sub> – 1.1 simülasyonu (Çizelge 5.4) sonucu elde edilen  $h_{\max}$  (4.08 m),  $V_{\max}$  (31.87 m/s) ve  $P_{\max}$  (406.33 kPa) değerlerinden sırasıyla % 11.7, % 1,0 ve % 2,0 oranında daha büyüktür.

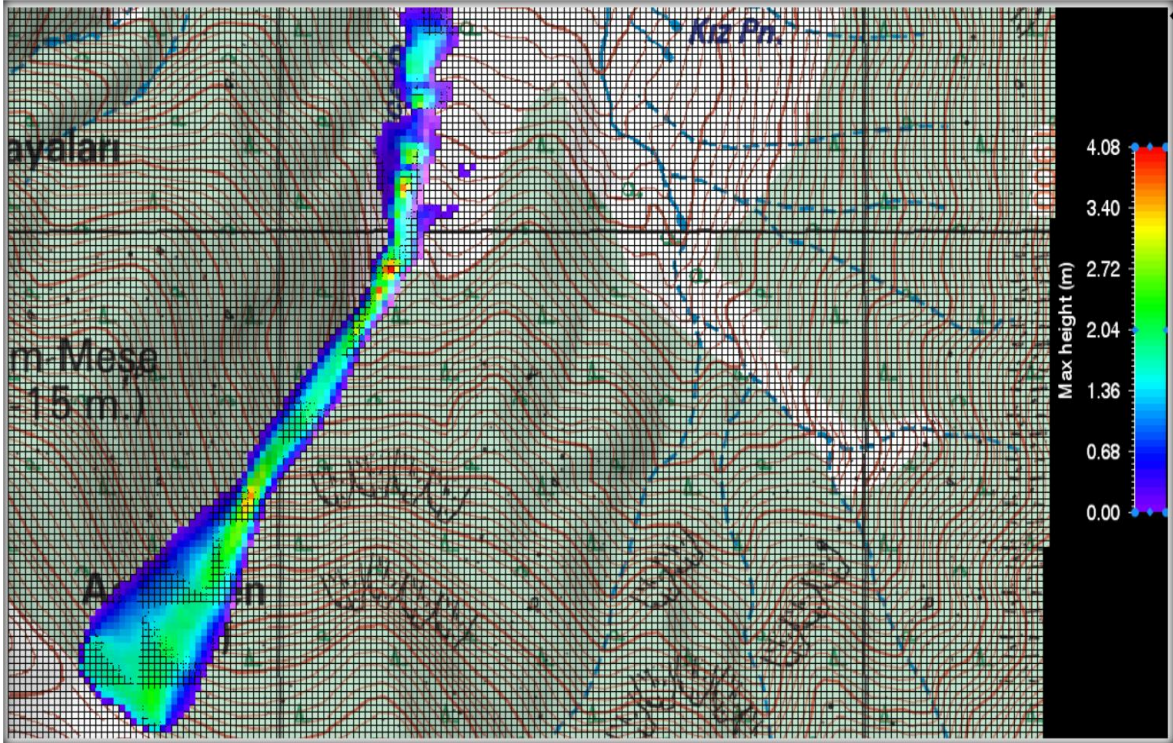
- Ancak, aynı ölçekli haritalardan üretilmiş olsalar dahi farklı hücre boyutlu (10 m x 10 m ve 20 m x 20 m) coğrafi altlığın kullanıldığı simülasyonların verdiği çıktılarının birbirlerinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. A<sub>25000</sub> ile B<sub>25000</sub> harita altlıklarında üretilen  $h_{\max}$ 'ların farkları % 36 – 85,7 arasında,  $V_{\max}$ 'ların farkları % 14,2 – 23,6 arasında ve  $P_{\max}$ 'ların farkları da % 30,4 – 52,7 arasında; A<sub>5000</sub> ile B<sub>5000</sub> harita altlıklarında üretilen  $h_{\max}$ 'ların farkları % 19,2 – 38,7 arasında,  $V_{\max}$ 'ların farkları % 12,2 – 16,5 arasında ve  $P_{\max}$ 'ların farkları da % 25,9 – 35,7 arasında olmaktadır. Örneğin, A<sub>5000</sub> – 1.1 simülasyonu (Çizelge 5.14) sonucu elde edilen  $h_{\max}$  (4.62 m),  $V_{\max}$  ( 32.19 m/s) ve  $P_{\max}$  (414.49 kPa) değerleri B<sub>5000</sub> – 1.1 simülasyonu (Çizelge 5.19) sonucu elde edilen  $h_{\max}$  (3,33 m),  $V_{\max}$  (27,64 m/s) ve  $P_{\max}$  (305,51 kPa) değerlerinden sırasıyla % 38.7, % 16,5 ve % 35,7 oranında daha büyüktür.

- Ayrıca, simülasyon sonuçlarında yapılan incelemeler neticesinde aynı harita altlıklarında farklı kar yoğunlukları için yapılan simülasyonlarda, aynı kopma derinlikleri için elde edilen maksimum derinliklerin ve hızların aynı yerde (lokasyonda) oluştuğu görülmüştür. Bu durum maksimum kar derinliklerinin görüldüğü yerler için aşağıda örnek olarak verilen Resim 5.22 ve Resim 5.23'ten; maksimum hızların görüldüğü yerler için yine aşağıda örnek olarak verilen Resim 5.24 ve Resim 5.25'ten de görülebilmektedir.



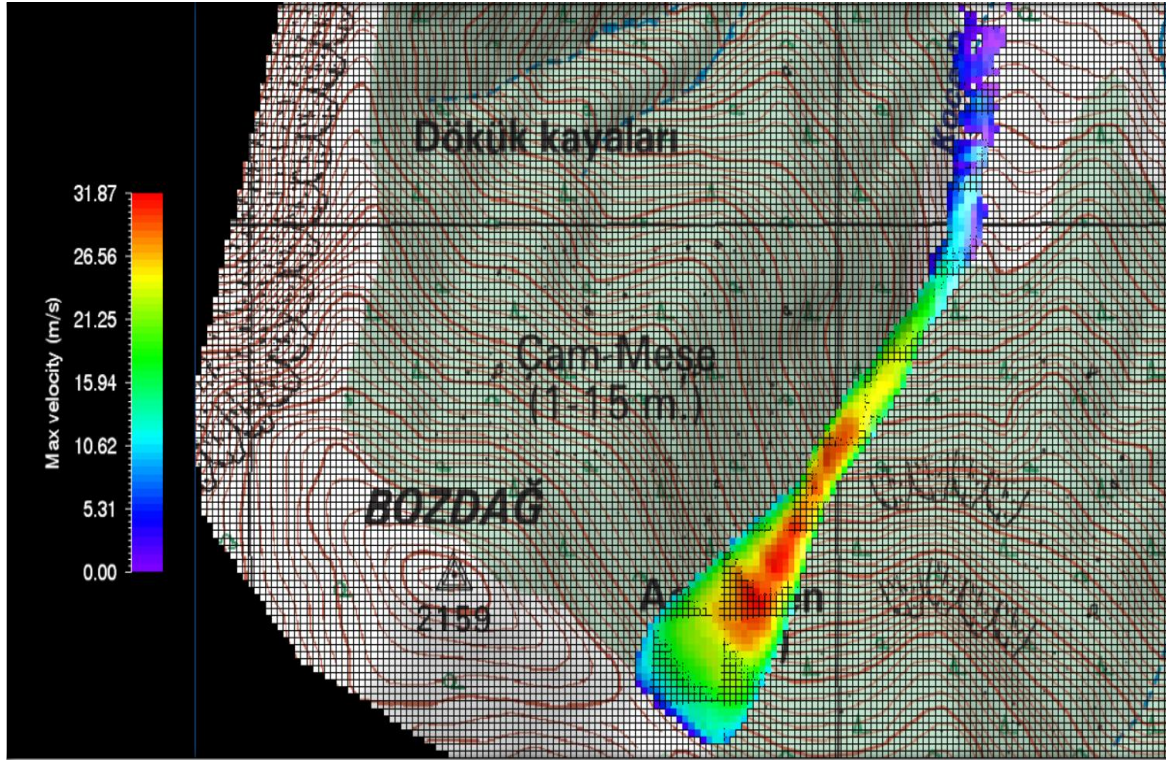


Resim 5.22. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada, 400 kg/m<sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 1.1$ ) maksimum kar derinlikleri ve yerleri.

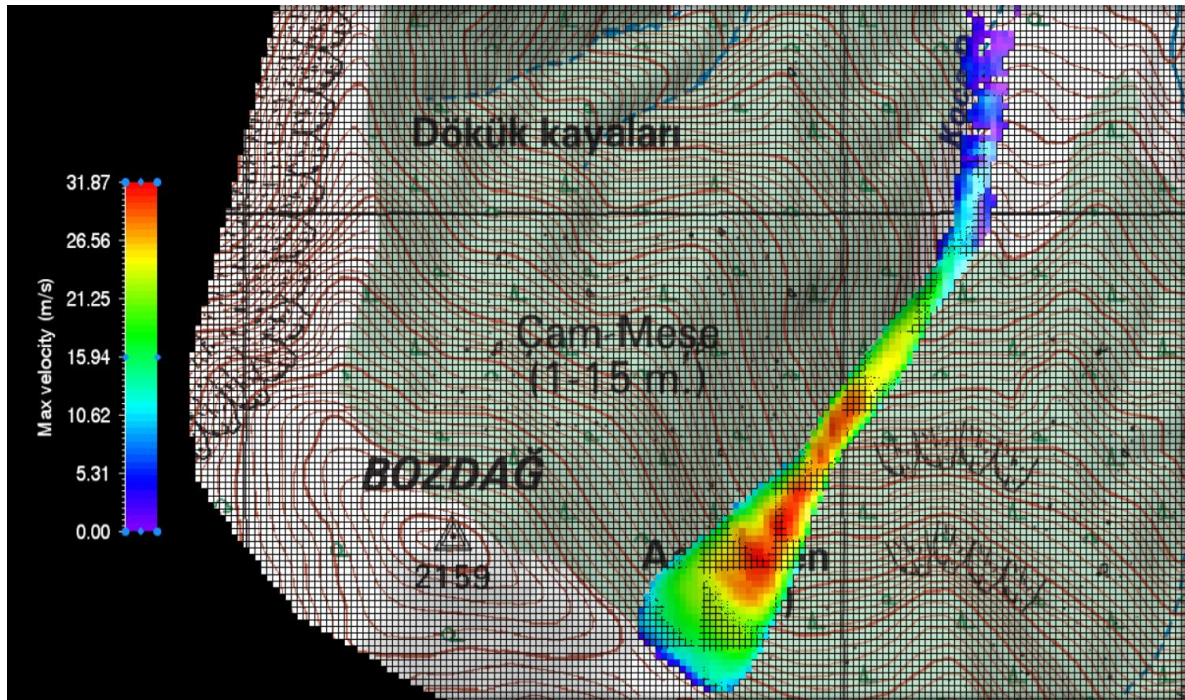


Resim 5.23. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada, 350 kg/m<sup>3</sup> kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 2.1$ ) maksimum kar derinlikleri ve yerleri.





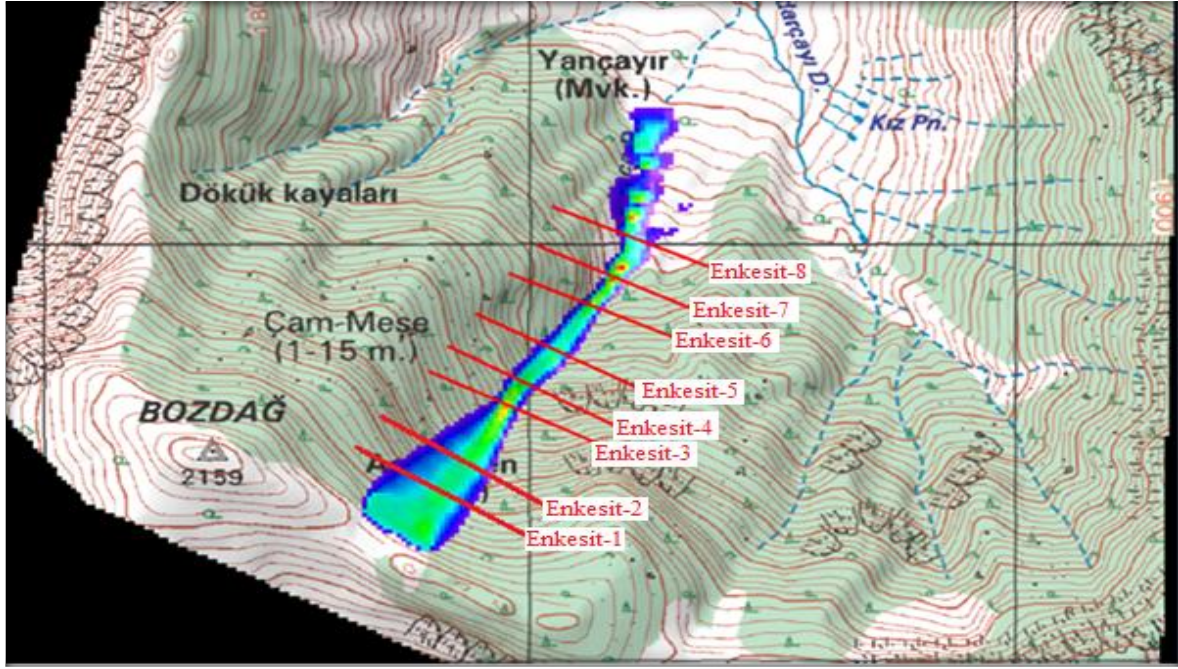
Resim 5.24. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada,  $400 \text{ kg/m}^3$  kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 1.1$ ) maksimum hızlar ve yerleri.



Resim 5.25. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip altlık haritada,  $350 \text{ kg/m}^3$  kar yoğunluğu ve 1,60 m kopma derinliği için elde edilen simülasyondaki ( $A_{25000} - 2.1$ ) maksimum hızlar ve yerleri.



Yukarıda yapılan incelemelere ilave olarak ı hattı boyunca güzergâhı temsil edebilecek şekilde (başlangıç, akma ve kopma bölgelerini içeren) enkesitlerde de benzer incelemeler yapılmıştır. Seçilen enkesit yerleri ve numaraları Resim 5.26’da verilmektedir.

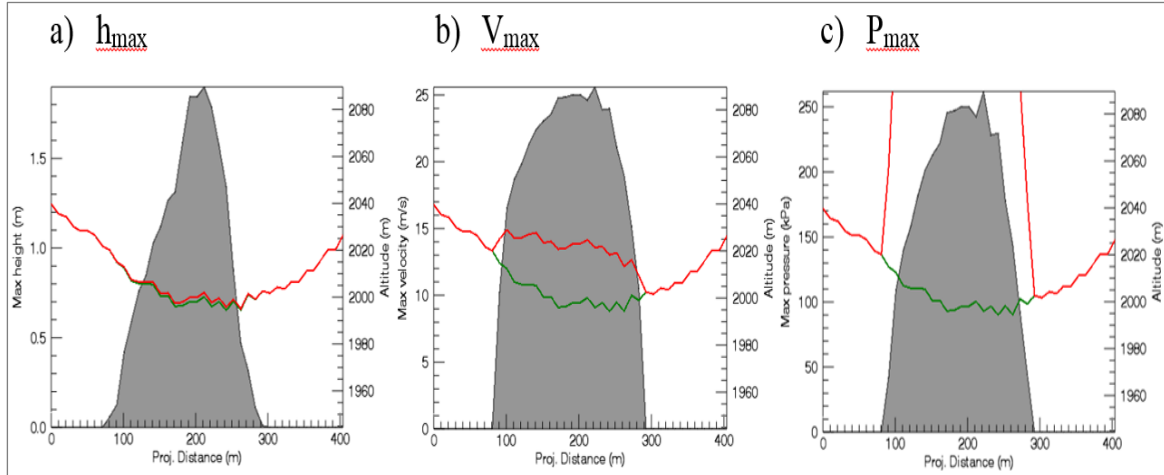


Resim 5.26. Çalışılan ı güzergâhı için seçilen enkesit yerleri.

1/25.000 ölçekli haritadan üretilen hem 10 m x 10 m hücre boyutlu hem de 20 m x 20 m hücre boyutlu altlıkta; sırasıyla 400 kg/m<sup>3</sup>, 300 kg/m<sup>3</sup> ve 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan karlar için sırasıyla 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m olmak üzere farklı kopma derinliklerinde başlatılan ılardan elde edilen simlasyonlarda Resim 5.26’da gösterilen enkesitlerde oluşan maksimum değerlerin (ı derinliği, hızı ve basıncı) değişimi incelenmiştir.

Enkesitlerdeki maksimum değerlere ait elde edilen tüm sonuçlar tezin ekler bölümünde EK-3 olarak verilmekte olup bunlardan elde edilen maksimum değerler (kar derinliği, ı hızı ve basıncı) izelge 5.24 – 5.41) gösterilmektedir.

Ekler bölümünde verilen söz konusu grafiklerden bir rneği şekil 5.4’de gösterilmiştir. Bu rnek, 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücreli boyutlu altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar örtüsü için 1,60 m kopma derinliği ile başlatılan ı simülasyonundan (A<sub>25000</sub> – 1.1) elde edilen ve 1 numaralı enkesitte oluşan maksimum değerleri göstermektedir.



Şekil 5.4. A<sub>25000</sub> - 1.1 simülasyonu sonucunda 1 No'lu enkesitte hesaplanan  $h_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $P_{max}$  değerlerinin enkesit boyunca değişimi.

Şekil 5.4'te verilen grafiklerde gri olarak gösterilen bölgeler, gözlenen parametreler ( $h_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $P_{max}$ ) olup bu parametrelerin hesaplanan değerleri program tarafından değişimlerin arazi üzerinde daha rahat takip edilebilmesi için 50 kat büyütülerek enkesit profiline eklenmektedir. Yine aynı grafiklerde sol ekseninde verilen ölçek gözlenen parametrenin ( $h_{max}$ ,  $V_{max}$  veya  $P_{max}$ ) büyüklüğünü (kendi birimlerinde), sağ ekseninde verilen ölçek en kesitin rakımını ve alt tarafta verilen eksenindeki ölçek ise enkesitin iz düşüm mesafesini göstermektedir.

Çizelge 5.24. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -1.1 | Maksimum Derinlik,<br>$h_{max}$<br>(m) | Maksimum Hız, $V_{max}$<br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>$P_{max}$<br>(kPa) |
|-------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,90                                   | 25,60                            | 262,00                                 |
| Enkesit-2               | 1,72                                   | 31,80                            | 405,00                                 |
| Enkesit-3               | 3,25                                   | 27,20                            | 300,00                                 |
| Enkesit-4               | 2,11                                   | 29,20                            | 348,00                                 |
| Enkesit-5               | 1,83                                   | 24,10                            | 232,00                                 |
| Enkesit-6               | 2,85                                   | 20,80                            | 171,00                                 |
| Enkesit-7               | 2,76                                   | 13,50                            | 75,00                                  |
| Enkesit-8               | 2,44                                   | 10,20                            | 41,30                                  |

Çizelge 5.25. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -1.3 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,55                                          | 24,50                                   | 240,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,37                                          | 29,80                                   | 355,00                                        |
| Enkesit-3               | 2,50                                          | 24,10                                   | 230,00                                        |
| Enkesit-4               | 1,55                                          | 26,10                                   | 272,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,52                                          | 20,00                                   | 160,00                                        |
| Enkesit-6               | 2,15                                          | 17,80                                   | 126,00                                        |
| Enkesit-7               | 2,62                                          | 10,20                                   | 41,10                                         |
| Enkesit-8               | 2,50                                          | 8,00                                    | 25,20                                         |

Çizelge 5.26. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -1.5 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,13                                          | 22,50                                   | 204,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,96                                          | 26,30                                   | 280,00                                        |
| Enkesit-3               | 1,66                                          | 19,50                                   | 152,00                                        |
| Enkesit-4               | 0,98                                          | 21,30                                   | 183,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,17                                          | 15,50                                   | 96,00                                         |
| Enkesit-6               | 1,62                                          | 14,50                                   | 85,00                                         |
| Enkesit-7               | 2,11                                          | 7,50                                    | 22,00                                         |
| Enkesit-8               | 1,85                                          | 6,60                                    | 17,20                                         |

Çizelge 5.27. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -3.1 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,90                                          | 25,60                                   | 198,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,72                                          | 31,80                                   | 303,00                                        |
| Enkesit-3               | 3,25                                          | 27,20                                   | 223,00                                        |
| Enkesit-4               | 2,11                                          | 29,20                                   | 261,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,83                                          | 24,10                                   | 173,00                                        |
| Enkesit-6               | 2,85                                          | 20,80                                   | 128,00                                        |
| Enkesit-7               | 2,76                                          | 13,50                                   | 54,80                                         |
| Enkesit-8               | 2,44                                          | 10,20                                   | 31,10                                         |

Çizelge 5.28. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -3.3 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,55                                          | 24,50                                   | 181,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,37                                          | 29,80                                   | 266,00                                        |
| Enkesit-3               | 2,50                                          | 24,10                                   | 173,00                                        |
| Enkesit-4               | 1,55                                          | 26,10                                   | 206,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,52                                          | 20,00                                   | 118,00                                        |
| Enkesit-6               | 2,15                                          | 17,80                                   | 95,00                                         |
| Enkesit-7               | 2,62                                          | 10,20                                   | 31,00                                         |
| Enkesit-8               | 2,50                                          | 8,00                                    | 19,00                                         |

Çizelge 5.29. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -3.5 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,13                                          | 22,50                                   | 153,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,96                                          | 26,30                                   | 210,00                                        |
| Enkesit-3               | 1,66                                          | 19,50                                   | 115,00                                        |
| Enkesit-4               | 0,98                                          | 21,30                                   | 137,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,17                                          | 15,50                                   | 72,00                                         |
| Enkesit-6               | 1,62                                          | 14,50                                   | 63,00                                         |
| Enkesit-7               | 2,11                                          | 7,50                                    | 16,40                                         |
| Enkesit-8               | 1,85                                          | 6,60                                    | 13,00                                         |

Çizelge 5.30. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -5.1 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,90                                          | 25,60                                   | 131,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,72                                          | 31,80                                   | 202,00                                        |
| Enkesit-3               | 3,25                                          | 27,20                                   | 148,00                                        |
| Enkesit-4               | 2,11                                          | 29,20                                   | 173,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,83                                          | 24,10                                   | 116,00                                        |
| Enkesit-6               | 2,85                                          | 20,80                                   | 85,00                                         |
| Enkesit-7               | 2,76                                          | 13,50                                   | 36,60                                         |
| Enkesit-8               | 2,44                                          | 10,20                                   | 21,00                                         |

Çizelge 5.31. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -5.3 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,55                                          | 24,50                                   | 120,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,37                                          | 29,80                                   | 177,80                                        |
| Enkesit-3               | 2,50                                          | 24,10                                   | 115,10                                        |
| Enkesit-4               | 1,55                                          | 26,10                                   | 137,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,52                                          | 20,00                                   | 80,00                                         |
| Enkesit-6               | 2,15                                          | 17,80                                   | 63,00                                         |
| Enkesit-7               | 2,62                                          | 10,20                                   | 20,80                                         |
| Enkesit-8               | 2,50                                          | 8,00                                    | 12,60                                         |

Çizelge 5.32. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m X 10 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| A <sub>25000</sub> -5.5 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,13                                          | 22,50                                   | 103,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,96                                          | 26,30                                   | 140,00                                        |
| Enkesit-3               | 1,66                                          | 19,50                                   | 76,00                                         |
| Enkesit-4               | 0,98                                          | 21,30                                   | 92,00                                         |
| Enkesit-5               | 1,17                                          | 15,50                                   | 48,00                                         |
| Enkesit-6               | 1,62                                          | 14,50                                   | 42,10                                         |
| Enkesit-7               | 2,11                                          | 7,50                                    | 11,00                                         |
| Enkesit-8               | 1,85                                          | 6,60                                    | 8,60                                          |

Çizelge 5.33. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -1.1 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,27                                          | 26,00                                   | 268,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,17                                          | 27,80                                   | 310,90                                        |
| Enkesit-3               | 1,74                                          | 23,70                                   | 225,00                                        |
| Enkesit-4               | 1,19                                          | 24,00                                   | 231,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,39                                          | 18,80                                   | 140,10                                        |
| Enkesit-6               | 1,55                                          | 17,70                                   | 125,00                                        |
| Enkesit-7               | 1,98                                          | 10,50                                   | 42,00                                         |
| Enkesit-8               | 1,72                                          | 6,80                                    | 18,80                                         |

Çizelge 5.34. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -1.3 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 0,98                                          | 24,00                                   | 231,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,91                                          | 25,40                                   | 258,80                                        |
| Enkesit-3               | 1,35                                          | 20,70                                   | 172,00                                        |
| Enkesit-4               | 0,92                                          | 21,00                                   | 174,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,15                                          | 16,20                                   | 106,00                                        |
| Enkesit-6               | 1,20                                          | 15,50                                   | 95,00                                         |
| Enkesit-7               | 1,55                                          | 8,70                                    | 31,00                                         |
| Enkesit-8               | 1,40                                          | 6,80                                    | 18,50                                         |

Çizelge 5.35. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -1.5 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 0,68                                          | 21,10                                   | 180,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,61                                          | 21,80                                   | 191,00                                        |
| Enkesit-3               | 0,90                                          | 17,10                                   | 118,00                                        |
| Enkesit-4               | 0,65                                          | 17,40                                   | 122,00                                        |
| Enkesit-5               | 0,81                                          | 13,80                                   | 77,00                                         |
| Enkesit-6               | 0,87                                          | 13,00                                   | 67,00                                         |
| Enkesit-7               | 0,99                                          | 7,30                                    | 21,00                                         |
| Enkesit-8               | 0,97                                          | 6,15                                    | 15,20                                         |

Çizelge 5.36. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -3.1 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,27                                          | 26,00                                   | 200,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,17                                          | 27,80                                   | 233,00                                        |
| Enkesit-3               | 1,74                                          | 23,70                                   | 170,00                                        |
| Enkesit-4               | 1,19                                          | 24,00                                   | 172,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,39                                          | 18,80                                   | 106,00                                        |
| Enkesit-6               | 1,55                                          | 17,70                                   | 95,00                                         |
| Enkesit-7               | 1,98                                          | 10,50                                   | 31,50                                         |
| Enkesit-8               | 1,72                                          | 6,80                                    | 14,00                                         |



Çizelge 5.37. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -3.3 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 0,98                                          | 24,00                                   | 173,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,91                                          | 25,40                                   | 194,00                                        |
| Enkesit-3               | 1,35                                          | 20,70                                   | 128,00                                        |
| Enkesit-4               | 0,92                                          | 21,00                                   | 131,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,15                                          | 16,20                                   | 78,00                                         |
| Enkesit-6               | 1,20                                          | 15,50                                   | 72,00                                         |
| Enkesit-7               | 1,55                                          | 8,70                                    | 23,20                                         |
| Enkesit-8               | 1,40                                          | 6,80                                    | 13,80                                         |

Çizelge 5.38. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -3.5 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 0,68                                          | 21,10                                   | 136,00                                        |
| Enkesit-2               | 0,61                                          | 21,80                                   | 143,00                                        |
| Enkesit-3               | 0,90                                          | 17,10                                   | 88,00                                         |
| Enkesit-4               | 0,65                                          | 17,40                                   | 92,00                                         |
| Enkesit-5               | 0,81                                          | 13,80                                   | 57,20                                         |
| Enkesit-6               | 0,87                                          | 13,00                                   | 50,10                                         |
| Enkesit-7               | 0,99                                          | 7,30                                    | 15,60                                         |
| Enkesit-8               | 0,97                                          | 6,15                                    | 11,50                                         |

Çizelge 5.39. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,60 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -5.1 | Maksimum Derinlik,<br>h <sub>max</sub><br>(m) | Maksimum Hız, V <sub>max</sub><br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>P <sub>max</sub><br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Enkesit-1               | 1,27                                          | 26,00                                   | 135,00                                        |
| Enkesit-2               | 1,17                                          | 27,80                                   | 155,00                                        |
| Enkesit-3               | 1,74                                          | 23,70                                   | 114,00                                        |
| Enkesit-4               | 1,19                                          | 24,00                                   | 116,00                                        |
| Enkesit-5               | 1,39                                          | 18,80                                   | 70,00                                         |
| Enkesit-6               | 1,55                                          | 17,70                                   | 62,20                                         |
| Enkesit-7               | 1,98                                          | 10,50                                   | 21,00                                         |
| Enkesit-8               | 1,72                                          | 6,80                                    | 9,40                                          |

Çizelge 5.40. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 1,20 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

| B <sub>25000</sub> -5.3 | Maksimum Derinlik,<br>$h_{\max}$<br>(m) | Maksimum Hız, $V_{\max}$<br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>$P_{\max}$<br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
| Enkesit-1               | 0,98                                    | 24,00                             | 116,00                                  |
| Enkesit-2               | 0,91                                    | 25,40                             | 129,00                                  |
| Enkesit-3               | 1,35                                    | 20,70                             | 86,00                                   |
| Enkesit-4               | 0,92                                    | 21,00                             | 87,00                                   |
| Enkesit-5               | 1,15                                    | 16,20                             | 52,60                                   |
| Enkesit-6               | 1,20                                    | 15,50                             | 47,20                                   |
| Enkesit-7               | 1,55                                    | 8,70                              | 15,60                                   |
| Enkesit-8               | 1,40                                    | 6,80                              | 9,30                                    |

Çizelge 5.41. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücreli altlık kullanılarak 200 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan kar için 0,80 m kopma derinliği ile gerçekleştirilen çığ simülasyonundan elde edilen enkesitlerdeki maksimum değerler

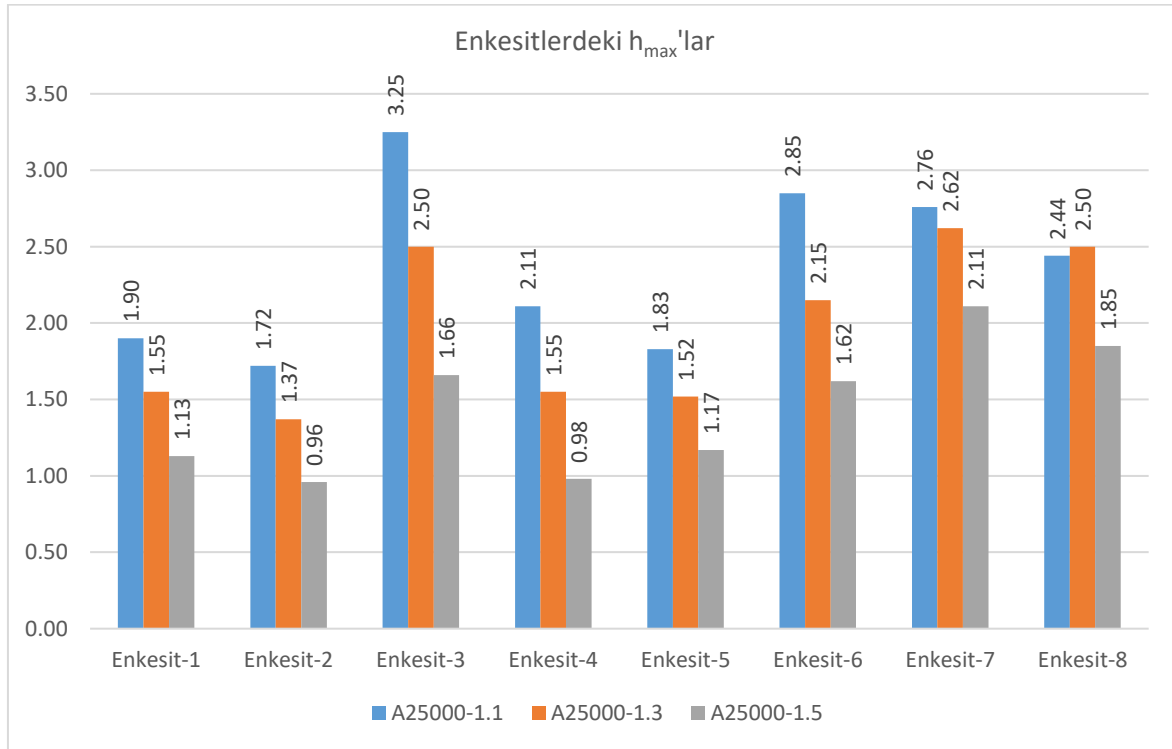
| B <sub>25000</sub> -5.5 | Maksimum Derinlik,<br>$h_{\max}$<br>(m) | Maksimum Hız, $V_{\max}$<br>(m/s) | Maksimum Basınç,<br>$P_{\max}$<br>(kPa) |
|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
| Enkesit-1               | 0,68                                    | 21,10                             | 90,10                                   |
| Enkesit-2               | 0,61                                    | 21,80                             | 95,10                                   |
| Enkesit-3               | 0,90                                    | 17,10                             | 59,00                                   |
| Enkesit-4               | 0,65                                    | 17,40                             | 61,00                                   |
| Enkesit-5               | 0,81                                    | 13,80                             | 38,10                                   |
| Enkesit-6               | 0,87                                    | 13,00                             | 33,30                                   |
| Enkesit-7               | 0,99                                    | 7,30                              | 10,40                                   |
| Enkesit-8               | 0,97                                    | 6,15                              | 7,60                                    |

Kocadere çığ güzergâhı için simülasyonlardan elde edilen sonuçların Resim 5.26'da gösterilen enkesitlerdeki maksimum değerlerinin verildiği çizelgeler (Çizelge 5.24 – 5.41) incelendiğinde;

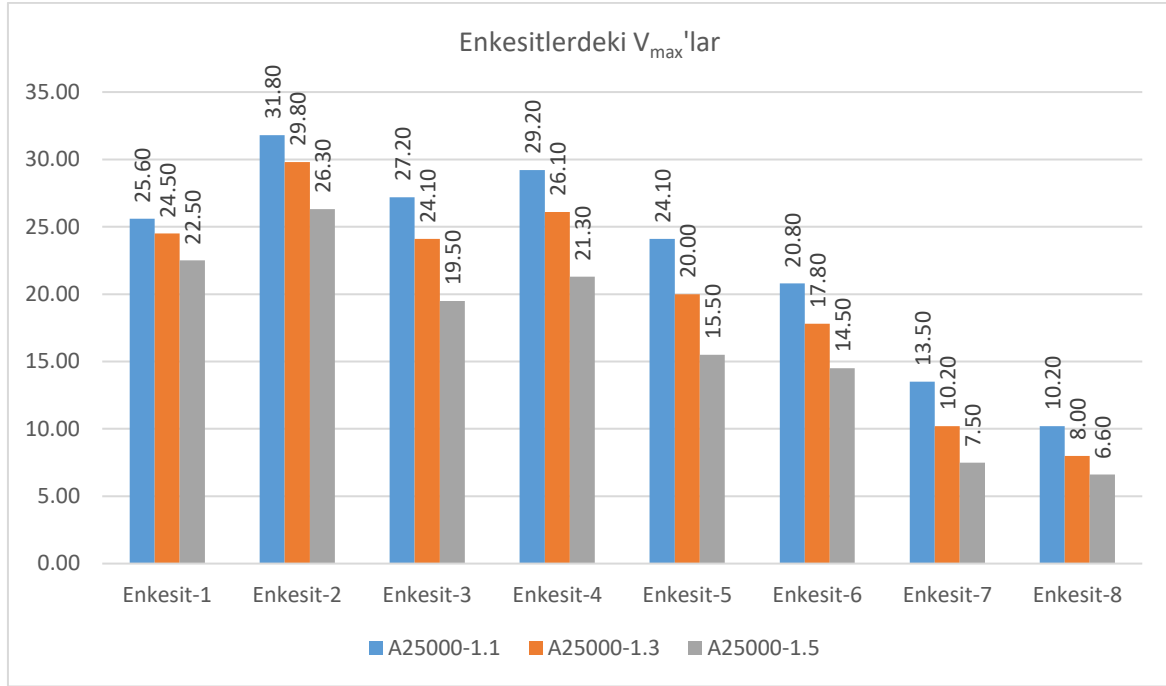
- Aynı harita altlıklarında ve kopma derinliklerinde aynı enkesitlerde elde edilen maksimum derinlik ve hızların aynı olduğu ve bunların kar yoğunluğu değişimlerinden etkilenmediği görülmüştür. Örneğin, Çizelge 5.24'deki enkesit-1'de elde edilen  $h_{\max}$  ve  $V_{\max}$  değerleri ile Çizelge 5.27 ve Çizelge 5.30'da verilen Enkesit-1'deki  $h_{\max}$  ve  $V_{\max}$  değerleri aynıdır. RAMMS programının, detayları 4. Bölümde verilen yönetsel denklemleri incelendiğinde yoğunluk söz konusu denklemlerde bir parametre olarak yer almamakta olup bu husus esas itibarıyla öngörülen bir durumdur.

- Aynı harita altlıkları ve kar yoğunlukları için kopma derinlikleri küçüldükçe aynı kesitlerde elde edilen maksimum derinliklerin, hızların ve basınçların da küçüldüğü görülmüştür. Örneğin, Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25’de verilen Enkesit-1’lerdeki değerler incelendiğinde kopma derinliğinin 1,60 m’den 1,20 m’ye % 25 oranında küçülmesi durumunda elde edilen  $h_{\max}$  değeri 1,90 m’den 1,55 m’ye % 18,4 oranında;  $V_{\max}$  değeri 25,60 m/s’den 24,50 m/s’ye % 4,3 oranında;  $P_{\max}$  değeri 262,00 kPa’dan 240,00 kPa’a % 8,4 oranında küçülmektedir. Yine, Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.26’da verilen Enkesit-1’lerdeki değerler incelendiğinde kopma derinliğinin 1,60 m’den 0,80 m’ye % 50 oranında küçülmesi durumunda ise elde edilen  $h_{\max}$  değeri 1,90 m’den 1,13 m’ye % 40,5 oranında;  $V_{\max}$  değeri 25,60 m/s’den 22,50 m/s’ye % 12,1 oranında;  $P_{\max}$  değeri 262,00 kPa’dan 204,00 kPa’a % 22,1 oranında küçülmektedir.

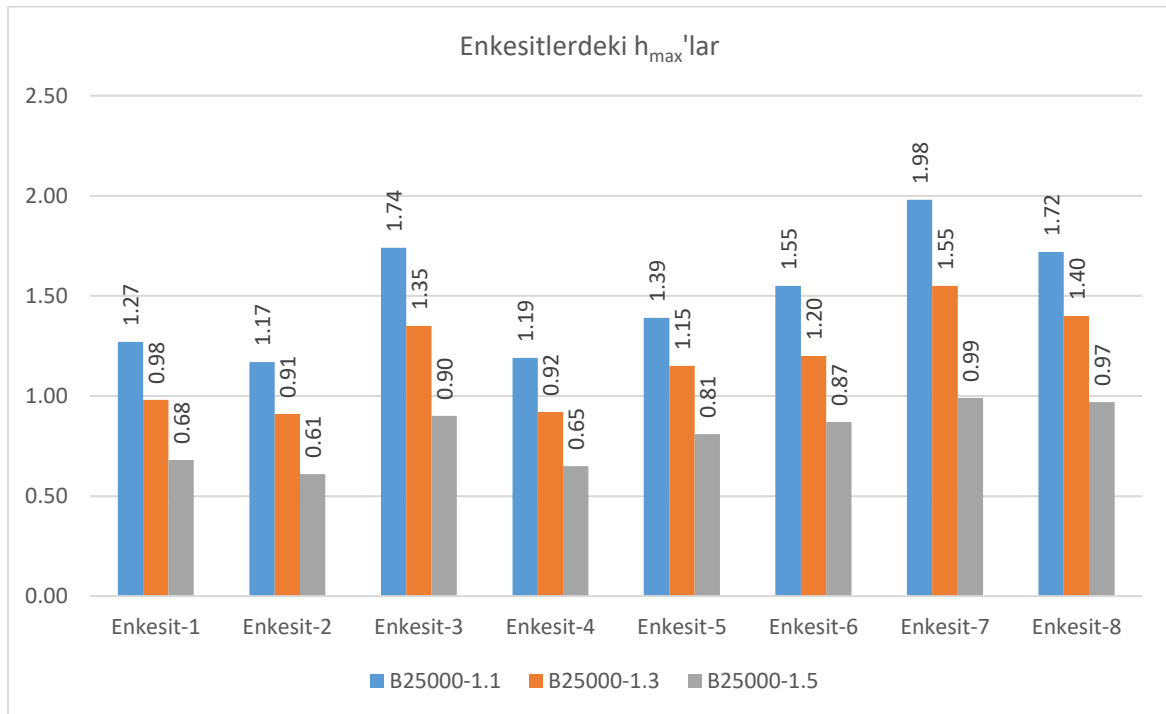
Enkesitlerde oluşan  $h_{\max}$  ve  $V_{\max}$  sonuçlarının güzergah boyunca değişimini görebilmek ve bunların yoğunluk ve kopma derinliği değişimlerinden nasıl etkilendiğini daha rahat inceleyebilmek için Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 oluşturulmuştur.



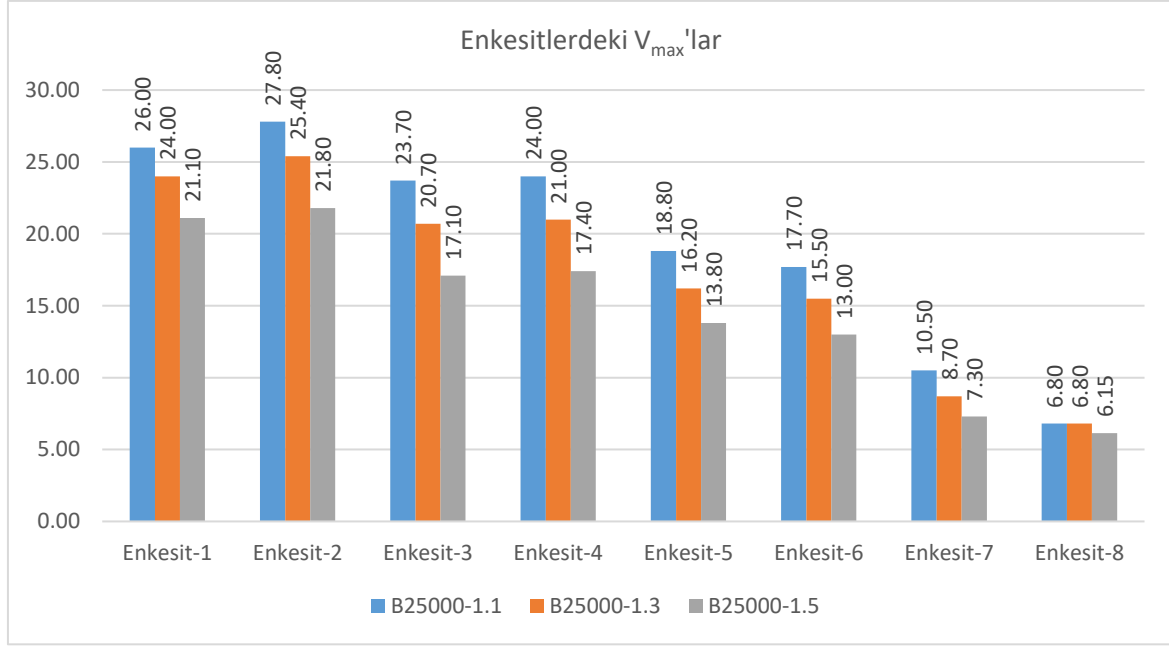
Şekil 5.5. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlıkta 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çıkış simülasyonlarından ( $A_{25000} = 1.1$ ,  $A_{25000} = 1.3$ ,  $A_{25000} = 1.5$ ) elde edilen enkesitlerdeki maksimum derinlikler



Şekil 5.6. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu altlıkta 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çıkış simülasyonlarından ( $A_{25000} - 1.1$ ,  $A_{25000} - 1.3$ ,  $A_{25000} - 1.5$ ) elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar



Şekil 5.7. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücre boyutlu altlıkta 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çıkış simülasyonlarından ( $B_{25000} - 1.1$ ,  $B_{25000} - 1.3$ ,  $B_{25000} - 1.5$ ) elde edilen enkesitlerdeki maksimum derinlikler



Şekil 5.8. 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m X 20 m hücre boyutlu altlıkta 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığ simülasyonlarından (B<sub>25000</sub> – 1.1, B<sub>25000</sub> – 1.3, B<sub>25000</sub> – 1.5) elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar

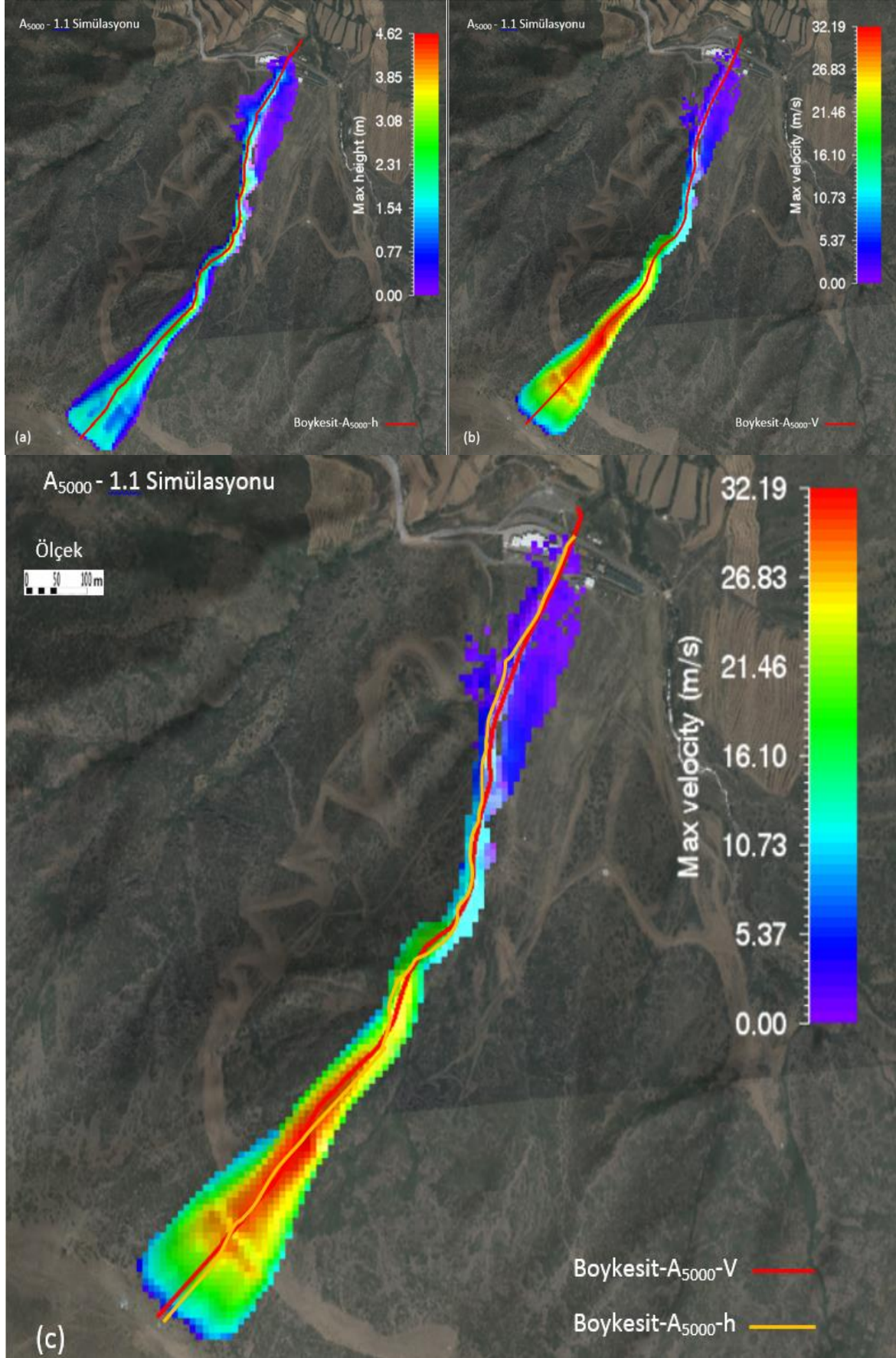
- A<sub>25000</sub>-1.1, A<sub>25000</sub>-1.3 ve A<sub>25000</sub>-1.5 simülasyonlarına ait enkesitlerdeki maksimum kar derinliklerinin verildiği Şekil 5.5 incelendiğinde Enkesit-1 ve Enkesit-2’de oluşan  $h_{max}$ ’lar başlangıç kopma derinliklerinden daha yüksek değerlere çıkmakta iken; B<sub>25000</sub>-1.1, B<sub>25000</sub>-1.3 ve B<sub>25000</sub>-1.5’e ait enkesitlerdeki maksimum kar derinliklerinin verildiği Şekil 5.7 incelendiğinde ise Enkesit-1 ve Enkesit-2’de oluşan  $h_{max}$ ’ların başlangıç kopma derinliklerinden daha küçük değerlere indiği görülmektedir. Örneğin, Şekil 5.5’te verilen kopma derinliği 1,60 m olan simülasyona ait Enkesit-1’deki  $h_{max}$  değeri 1,90 m, Enkesit-2’deki  $h_{max}$  değeri 1,72 m iken Şekil 5.7’de verilen kopma derinliği 1,60 m olan simülasyona ait Enkesit-1’deki  $h_{max}$  değeri 1,27 m ve Enkesit-2’deki  $h_{max}$  değeri ise 1,17 m olmaktadır.

- Genel olarak sabit sürtünme parametreleri ve geometriye (kanalın enkesiti ve boyuna eğimi) sahip çığ akma hattı üzerindeki hızlanma bölgesinde çığ hızı arttıkça buna mukabil çığ derinliği düşer. Bununla birlikte reel durum (gerçek arazi koşullarındaki durum) farklılık arz edebilir. Örneğin, Şekil 5.5’de verilen Enkesit-3’deki  $h_{max}$ ’ların Enkesit-2’deki  $h_{max}$ ’lardan daha küçük olması beklenirken geometrideki değişim (kesitin o bölgede aşırı daralması) nedeniyle beklenen durumdan farklı olarak Enkesit-3’deki  $h_{max}$ ’lar (3,25 m; 2,50 m ve 1,66 m) Enkesit-2’deki  $h_{max}$ ’lardan (1,72 m; 1,37 m ve 0,96 m) daha büyük olarak hesaplanmıştır.

Yine yukarıda ifade edilen çalışmalara ilave olarak simülasyonlar sonucu elde edilen parametrelerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) değişimleri, çığ güzergâhı boyunca seçilen uygun boy kesitlerde incelenmiştir.

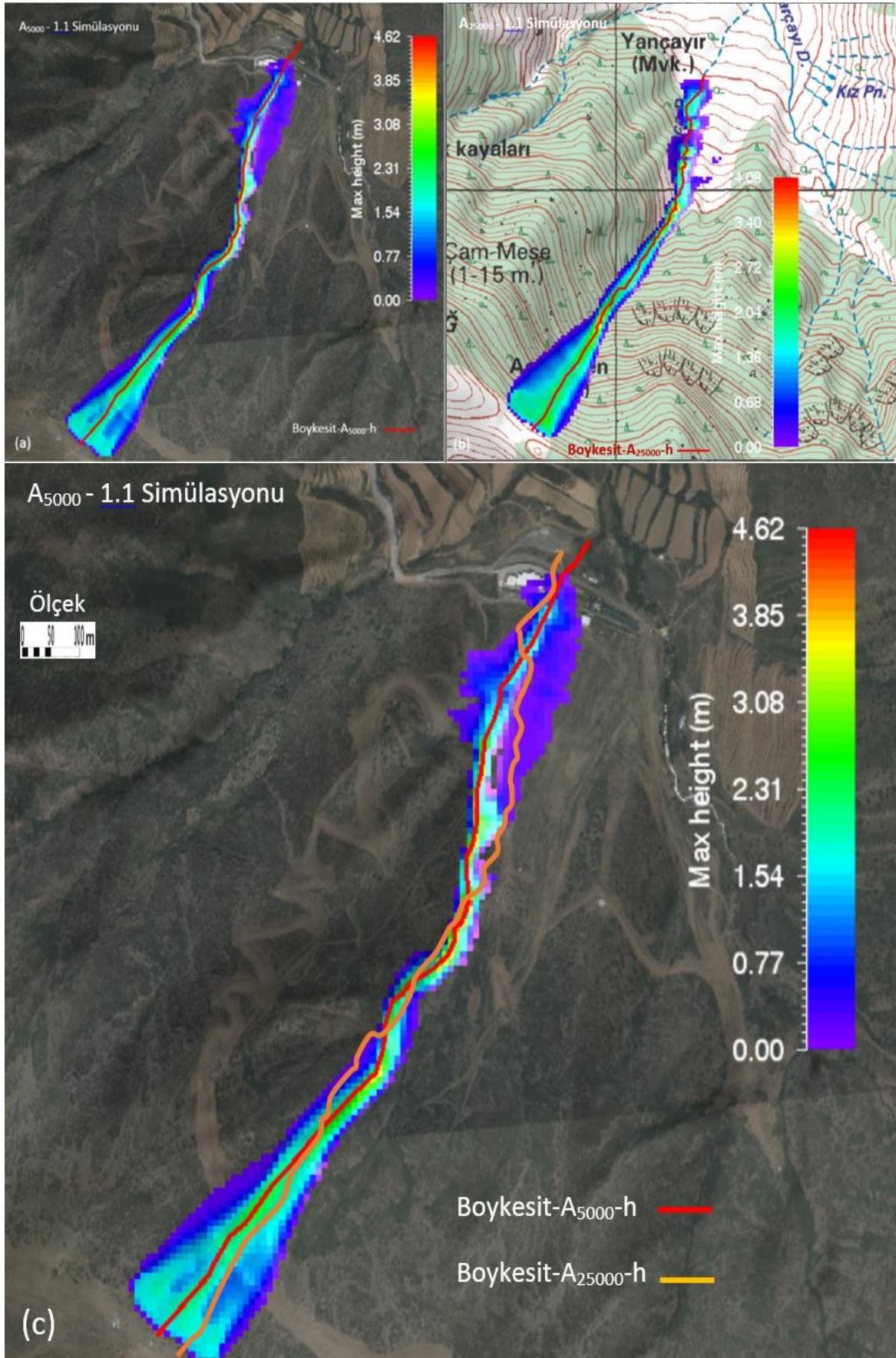
Simülasyonlar sonucunda elde edilen parametrelerin incelenmesi sonucunda, aynı simülasyon için  $h_{\max}$  değerlerinin, çığ hattı boyunca maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahının,  $V_{\max}$  değerlerinin maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahından farklı olduğu,  $V_{\max}$  değerlerinin maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahının da  $P_{\max}$  değerlerinin maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahından farklı olduğu görülmüştür. Örneğin A<sub>5000</sub>-1.1 simülasyonu sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ 'ların maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahı ile  $V_{\max}$ 'ların maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahı birbirlerinden farklıdır (Resim 5.27).

Ayrıca, aynı çığ güzergâhı ve kopma bölgesi için kar yoğunluğu ve kırılma derinliği de aynı olan fakat farklı harita altlıklarında gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen  $h_{\max}$  değerlerinin maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergâhlarının da birbirlerinden farklı olduğu görülmüştür. Benzer durum  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergâhları için de geçerlidir. Örneğin A<sub>5000</sub>-1.1 simülasyonu sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ 'ların maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahı ile A<sub>25000</sub>-1.1 simülasyonu sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ 'ların maksimum olduğu noktalardan geçirilen boykesit güzergahı birbirlerinden farklıdır (Resim 5.28).



Resim 5.27. A<sub>5000</sub>-1.1 simülasyonu için  $h_{\max}$  ve  $V_{\max}$  değerlerinin maksimumlarından geçirilen hatlar





Resim 5.28. A<sub>5000</sub>-1.1 simülasyonu için  $h_{\max}$  ve  $V_{\max}$  değerlerinin maksimumlarından geçirilen hatlar

Bu nedenle simülasyonlar sonucu elde edilen parametrelerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) değişimlerini, ış güzergâhı boyunca inceleyebilmek amacıyla kullanılan her bir harita altlığı için parametrelerin maksimum olduğu noktalardan geçecek şekilde  $h_{\max}$  için 4,  $V_{\max}$  için 4 ve  $P_{\max}$  için de 4 adet olmak üzere toplamda 12 farklı boykesit güzergâhı belirlenmiştir (Çizelge 5.42). Parametrelerin ış güzergâhı boyunca değişimleri belirlenen bu boykesitlerdeki değerler üzerinden incelenmiştir.

Çizelge 5.42. ış güzergâhı boyunca  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değişimlerini inceleyebilmek amacıyla simülasyonlarda kullanılan harita altlıkları için belirlenen boykesit isimleri ve açıklamaları

| Boykesit Adı                   | Açıklama                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Boykesit-A <sub>5000</sub> -h  | 1/5.000 ölçekli haritadan 10 m x 10 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $h_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit  |
| Boykesit-A <sub>5000</sub> -V  | 1/5.000 ölçekli haritadan 10 m x 10 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $V_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit  |
| Boykesit-A <sub>5000</sub> -P  | 1/5.000 ölçekli haritadan 10 m x 10 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $P_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit  |
| Boykesit-B <sub>5000</sub> -h  | 1/5.000 ölçekli haritadan 20 m x 20 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $h_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit  |
| Boykesit-B <sub>5000</sub> -V  | 1/5.000 ölçekli haritadan 20 m x 20 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $V_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit  |
| Boykesit-B <sub>5000</sub> -P  | 1/5.000 ölçekli haritadan 20 m x 20 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $P_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit  |
| Boykesit-A <sub>25000</sub> -h | 1/25.000 ölçekli haritadan 10 m x 10 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $h_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit |
| Boykesit-A <sub>25000</sub> -V | 1/25.000 ölçekli haritadan 10 m x 10 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $V_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit |
| Boykesit-A <sub>25000</sub> -P | 1/25.000 ölçekli haritadan 10 m x 10 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $P_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit |
| Boykesit-B <sub>25000</sub> -h | 1/25.000 ölçekli haritadan 20 m x 20 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $h_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit |
| Boykesit-B <sub>25000</sub> -V | 1/25.000 ölçekli haritadan 20 m x 20 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $V_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit |
| Boykesit-B <sub>25000</sub> -P | 1/25.000 ölçekli haritadan 20 m x 20 m hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritanın kullanıldığı simülasyonlardan elde edilen $P_{\max}$ değişimlerinin incelendiğı boykesit |

$A_{5000} - 1.1$ ,  $A_{5000} - 1.3$  ve  $A_{5000} - 1.5$  simülasyonları sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin sırasıyla Boykesit- $A_{5000}$ -h, Boykesit- $A_{5000}$ -V ve Boykesit- $A_{5000}$ -P boyunca değişimi;  $B_{5000} - 1.1$ ,  $B_{5000} - 1.3$  ve  $B_{5000} - 1.5$  simülasyonları sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin sırasıyla Boykesit- $B_{5000}$ -h, Boykesit- $B_{5000}$ -V ve Boykesit- $B_{5000}$ -P boyunca değişimi;  $A_{25000} - 1.1$ ,  $A_{25000} - 1.3$  ve  $A_{25000} - 1.5$  simülasyonları sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin sırasıyla Boykesit- $A_{25000}$ -h, Boykesit- $A_{25000}$ -V ve Boykesit- $A_{25000}$ -P boyunca değişimi;  $B_{25000} - 1.1$ ,  $B_{25000} - 1.3$  ve  $B_{25000} - 1.5$  simülasyonları sonucunda elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin sırasıyla Boykesit- $B_{25000}$ -h, Boykesit- $B_{25000}$ -V ve Boykesit- $B_{25000}$ -P boyunca değişimi EK-4'te verilmektedir.

Dört farklı harita altlığında çalıştırılan  $400 \text{ kg/m}^3$  kar yoğunluğuna sahip simülasyonlardan; 1,60 m başlangıç kopma derinliğine sahip olan simülasyonlar ( $A_{5000} - 1.1$ ,  $B_{5000} - 1.1$ ,  $A_{25000} - 1.1$ ,  $B_{25000} - 1.1$ ) için Çizelge 5.42'de verilen uygun boykesitlerdeki  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimumları Çizelge 5.43'de; 1,20 m başlangıç kopma derinliğine sahip olan simülasyonlar ( $A_{5000} - 1.3$ ,  $B_{5000} - 1.3$ ,  $A_{25000} - 1.3$ ,  $B_{25000} - 1.3$ ) için Çizelge 5.42'de verilen uygun boykesitlerdeki  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimumları Çizelge 5.44'de; 0,80 m başlangıç kopma derinliğine sahip olan simülasyonlar ( $A_{5000} - 1.5$ ,  $B_{5000} - 1.5$ ,  $A_{25000} - 1.5$ ,  $B_{25000} - 1.5$ ) için Çizelge 5.42'de verilen uygun boykesitlerdeki  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimumları Çizelge 5.45'te verilmektedir.

Çizelge 5.43.  $A_{5000} - 1.1$ ,  $B_{5000} - 1.1$ ,  $A_{25000} - 1.1$  ve  $B_{25000} - 1.1$  simülasyonları için seçilen boykesitteki  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimumları

| Kullanılan Harita Altlığı                                            | $h_{\max}$<br>(m) | $V_{\max}$<br>(m/s) | $P_{\max}$<br>(kPa) |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu harita  | 4,62              | 32,19               | 414,49              |
| 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu harita  | 3,33              | 27,64               | 305,51              |
| 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu harita | 4,08              | 31,83               | 405,30              |
| 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu harita | 3,00              | 27,91               | 311,53              |

Çizelge 5.44.  $A_{5000} - 1.3$ ,  $B_{5000} - 1.3$ ,  $A_{25000} - 1.3$  ve  $B_{25000} - 1.3$  simülasyonları için seçilen boykesitteki  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimumları

| Kullanılan Harita Altlığı                                            | $h_{\max}$<br>(m) | $V_{\max}$<br>(m/s) | $P_{\max}$<br>(kPa) |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu harita  | 3,07              | 29,14               | 339,59              |
| 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu harita  | 2,73              | 25,16               | 253,14              |
| 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu harita | 3,47              | 29,78               | 354,81              |
| 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu harita | 2,40              | 25,47               | 259,48              |

Çizelge 5.45.  $A_{5000} - 1.5$ ,  $B_{5000} - 1.5$ ,  $A_{25000} - 1.5$  ve  $B_{25000} - 1.5$  simülasyonları için seçilen boykesitteki  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin maksimumları

| Kullanılan Harita Altlığı                                            | $h_{\max}$<br>(m) | $V_{\max}$<br>(m/s) | $P_{\max}$<br>(kPa) |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu harita  | 2,38              | 24,40               | 238,11              |
| 1/5.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu harita  | 2,19              | 21,52               | 185,29              |
| 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10 m x 10 m hücre boyutlu harita | 2,41              | 26,38               | 278,33              |
| 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 20 m x 20 m hücre boyutlu harita | 1,72              | 20,89               | 174,62              |

- Simülasyonlar sonucu elde edilen parametrelerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) değişimleri, çıkış güzergâhı boyunca seçilen uygun boy kesitler incelendiğinde aynı çıkış güzergâhı ve kopma bölgesi için kar yoğunluğu ve kırılma derinliği aynı olan simülasyonlarda, üretildiği harita ölçeğinden (1/25.000 veya 1/5.000) bağımsız olarak, 10 m x 10 m hücre boyutuna sahip harita altlıkları kullanılarak elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin, 20 m x 20 m hücre boyutuna sahip harita altlıkları kullanılarak elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin, Çizelge 5.43 te verilen  $A_{5000} - 1.1$  simülasyonunda

üretilen  $h_{\max} = 4,62$  m,  $V_{\max} = 32,19$  m/s ve  $P_{\max} = 414,49$  kPa iken seçilen B<sub>5000</sub> - 1.1 simülasyonunda üretilen  $h_{\max} = 3,33$  m,  $V_{\max} = 27,64$  m/s ve  $P_{\max} = 305,51$  kPa olmaktadır.

- Aynı kar yoğunluğu ve kırılma derinliği için farklı ölçekli haritalardan aynı hücre boyutlu olarak üretilen altlık haritalarda çalıştırılan simülasyon sonuçları ile yapılan inceleme neticesinde üretilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin altlık harita üretiminde kullanılan harita ölçeği ile kurallı (düzenli) bir ilişkisinin varlığı tespit edilememiştir. Örneğin Çizelge 5.43'te görüleceği üzere A<sub>5000</sub> - 1.1 simülasyonu sonucu üretilen  $h_{\max}$  değeri, A<sub>25000</sub> - 1.1 simülasyonu sonucu üretilen  $h_{\max}$  değerinden büyük iken, Çizelge 5.44'de verilen A<sub>5000</sub> - 1.3 simülasyonu sonucu üretilen  $h_{\max}$  değeri, A<sub>25000</sub> - 1.3 simülasyonu sonucu üretilen  $h_{\max}$  değerinden küçüktür.

Sonuç olarak bu bölümde detaylarıyla verilen incelemelere göre, RAMMS programı ile oluşturulan simülasyon sonuçlarından elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin simülasyonlarda kullanılan altlıkların üretildiği haritanın ölçeğinden ve hücre boyutundan farklı oranlarda etkilendiği görülmüştür.

#### 5.4.2. RAMMS programı çıktılarının değerlendirilmesi

Tez kapsamında çalışılmak üzere seçilen pilot bölgedeki Kocadere mevkiinde daha önce de bahsedildiği üzere 20 Ocak 2013 tarihinde çığ gerçekleşmiş olup, söz konusu çığda Bozdağ Kayak Merkezinde çığ menşeli hasar meydana gelmiş ve kayak merkezi hizmete kapatılmıştır.

Yöreye yapılan saha ziyaretleri ile Kocadere çığ güzergâhı hakkında yerinde gözlemler yapılmış ayrıca bölgede çalışan ve söz konusu çığ ve akabinde orada bulunan kişiler ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu görüşmeler sırasında Kerem Coşkun isimli yörede çalışan bir görevliden söz konusu çığın kırılma kalınlığı (kopma derinliği), kırılma hattının güzergâhı, kopma bölgesinin yeri ve büyüklüğü, durma mesafesi, durma bölgesinde biriken karın derinliği ayrıca çığın kayak merkezine verdiği hasar gibi bilgilerinin elde edilebileceği çığ konusunda çalışan uzmanlar için çok kıymetli bir o kadar da nadir bulunan fotoğraflar temin edilmiştir. Söz konusu fotoğraflardan bazıları bu bölüm içerisinde Resim 5.2, Resim 5.3, Resim 5.4 ve Resim 5.10 olarak verilmiştir.

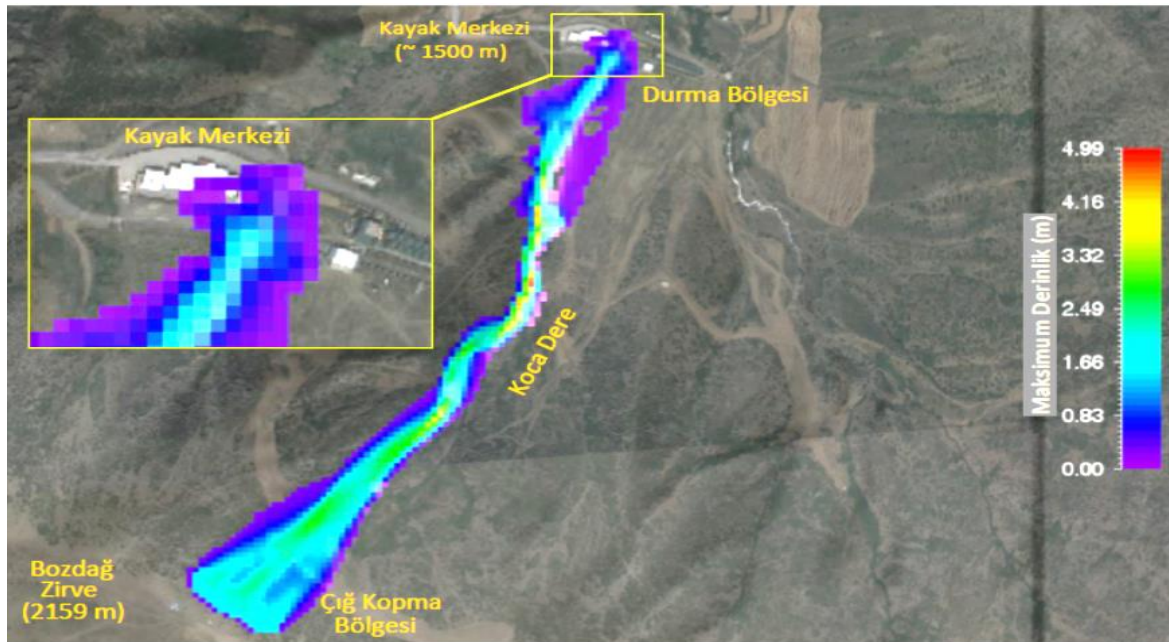


Bu fotoğraflar ve çığ sırasında ve/veya hemen akabinde o bölgede bulunan kişiler ile yapılan görüşmeler yardımıyla o tarihte gerçekleşen çığın kopma bölgesinin yeri ve büyüklüğü, kopma derinliği tespit edilerek RAMMS programında yapılacak simülasyon için girdi olarak kullanılmıştır.

Yine simülasyon için gerekli bir girdi olan kar yoğunluğu ise 1519 m kotunda yer alan ve halen DSİ tarafından işletilmekte olan E05K001 Numaralı Kar Gözlem İstasyonunda yapılan rasatlar neticesinde hesaplanan kar yoğunlukları (Şekil 5.2) göz önünde bulundurulmak suretiyle yöre için uygun bir değer olan  $350 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmıştır.

RAMMS programında üretilen simülasyon sonuçlarını Kayak Merkezi ile ilişkilendirebilmek için yüksek çözünürlüğe sahip 1/5.000 ölçekli ortofoto temini yoluna gidilmiş olup yine RAMMS programının ihtiyaç duyduğu topoğrafik altlık da (ASCII Dosyası) 1/5.000 ölçeğindeki sayısal yükseklik modelinden (SYM) üretilmiştir.

Simülasyon için gerekli bir diğer girdi olan sürtünme parametreleri ise programa altlık olarak verilen harita kullanılmak suretiyle otomatik olarak üretilmiştir. Tüm bu bahsedilen hazırlıklar akabinde RAMMS programı çalıştırılmış olup Resim 5.29'da gösterildiği şekilde bir çığ simülasyonu elde edilmiştir.

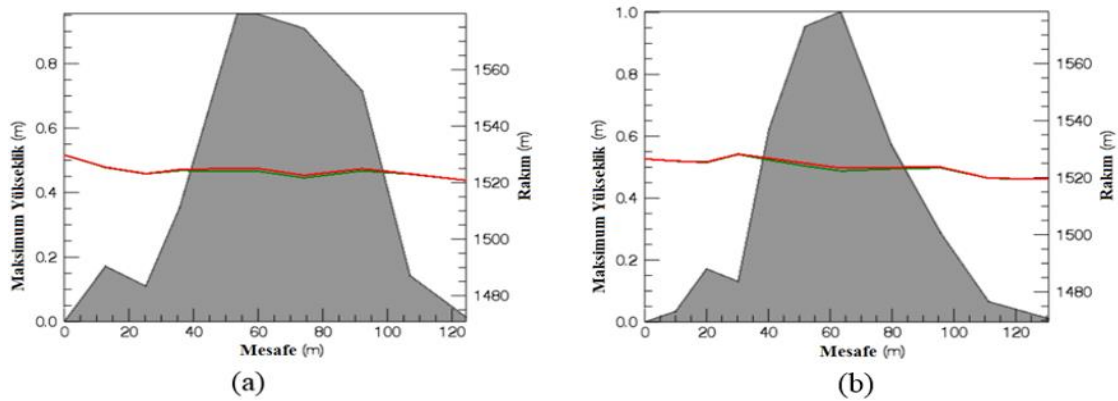


Resim 5.29. Kocadere çığ güzergâhı için RAMMS programının ürettiği simülasyonun plandaki görünümü

Resim 5.29'dan görüleceği üzere simülasyon sonucu üretilen çığ kayak merkezine kadar ulaşmış ve çığın akış yönü referans alındığında kayak merkezinin sağ tarafını da içerecek şekilde o bölgede birikmiştir.

Durma bölgesinden örnek olarak alınan ve Şekil 5.9 (a) ve (b)'de gösterilen simülasyon sonucunda kayak merkezinin de içinde bulunduğu çığın durma bölgesi için üretilen kar yükseklikleri yaklaşık 1 m civarındadır.

Simülasyon sonucu oluşan durma bölgesinin hem konumunun ve kayak merkezi ile olan ilişkisinin hem de bu bölgede üretilen kar yüksekliklerinin, gerek fotoğraflardan elde edilen verilerle gerekse 20 Ocak 2013 tarihli çığa şahitlik edenler tarafından verilen bilgilerle uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 5.9. Simülasyon sonucu üretilen durma bölgesindeki kar yükseklikleri (a ve b).

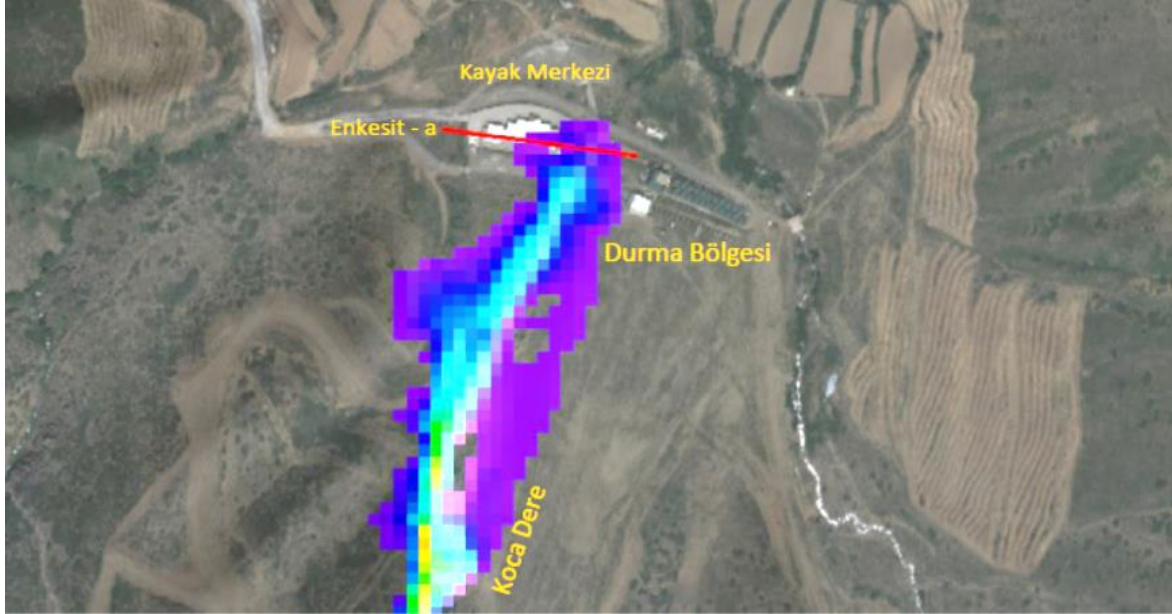
Çizelge 5.46'da çığın oluşturduğu çarpma basınçları ve bu basınçların yapılara verdiği hasarlar arasındaki ilişki verilmektedir.

Çizelge 5.46. Çarpma basınçları ve meydana getireceği hasarlar (McClung ve Schaerer, 2006: 132).

| Çarpma Basıncı (kPa) | Potansiyel Hasar          |
|----------------------|---------------------------|
| 1                    | Camlar kırılır            |
| 5                    | Kapılar kırılır           |
| 30                   | Ahşap yapılar yıkılır     |
| 100                  | Büyük ağaçlar sökülür     |
| 1000                 | Betonarme yapılar yıkılır |

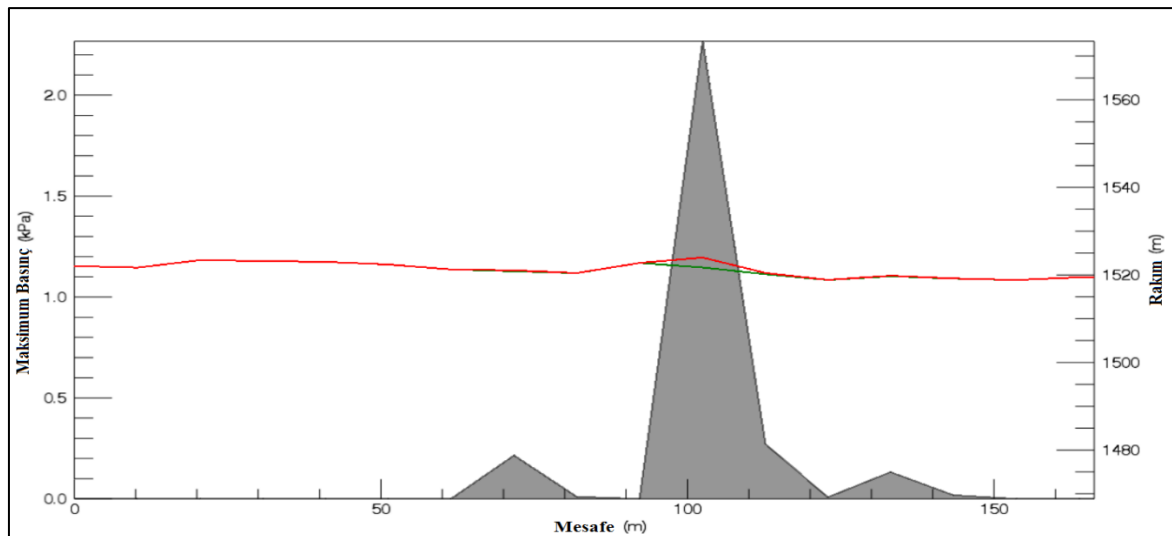


RAMMS programı kullanılarak oluşturulan simülasyonun kayak merkezinin de içinde bulunduğu durma bölgesindeki ürettiği basınçlar ile Çizelge 5.46 göz önünde bulundurulmak suretiyle kayak merkezinde meydana gelen hasara neden olan basınçların karşılaştırılabilmesi için aşağıda verilen Resim 5.30'da konumu gösterilen enkesit için (Enkesit - a) basınç okuması yapılmıştır.



Resim 5.30. Kocadere çığ güzergâhı için RAMMS programının ürettiği simülasyon sonucu ve kayak merkezinin konumu

Enkesit – a için simülasyon sonucu üretilen basınç değişimi Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.10. Enkesit – a için bulunan maksimum basınç dağılımı

RAMMS tarafından durma bölgesi için üretilen ve Şekil 5.10'da verilen Enkesit – a ya ait grafikteki maksimum basınç yaklaşık olarak 2.3 kPa'dır. Resim 5.2'de (kayak merkezinin çığ nedeniyle hasar gören yan penceresi) gösterilen hasar ile Çizelge 5.46'da verilen basınç – hasar ilişkisi birlikte değerlendirildiğinde, 20 Ocak 2013 tarihinde gerçekleşen çığ tarafından durma bölgesinde oluşturulan basınç değerlerinin 1 – 5 kPa aralığında olduğu düşünülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, program tarafından durma bölgesi için elde edilen basınç değerlerinin 20 Ocak 2013 tarihinde gerçekleşen çığ tarafından durma bölgesinde oluşturulan basınç değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Özetle, RAMMS programı tarafından gerçekleştirilen çığ simülasyonunun 20 Ocak 2013 tarihinde gerçekleşen çığ ile aynı yerde durduğu, durma bölgesindeki kayak merkezi tesisine aynı yönden çarptığı, simülasyon sonucu durma bölgesi için üretilen basınç değerlerinin ve kar yüksekliklerinin gerçek basınç değerleri ve kar yükseklikleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Ancak, söz konusu program pilot havzadaki Kocadere çığ güzergâhı için durduğu yer, ürettiği basınç ve kar yükseklikleri açısından her ne kadar başarılı kabul edilebilecek sonuçlar vermiş olsa da, RAMMS sayısal modelinin ülkemizdeki çığ güzergâhları için uygun olup olmadığının tespitine yönelik güzergâh tipi, yükseltisi, bitki örtüsü durumu farklı ve gerçekleşmiş çığlara ait kopma bölgesi, durma mesafesi, durma mesafesindeki çarpma basınçları ve kar yükseklikleri bilgilerinin mevcut olduğu başka bölgelerde de denenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

### 5.4.3. Kütle Merkezi Modeli çıktılarının RAMMS çıktıları ile mukayesesi

Kütle merkezinin hareketi aşağıda verilen Eşitlik 5.3'te gösterildiği üzere, kütleye ait momentum değişiminin o kütleye etkiyen kuvvetler toplamıyla ilişkisi ile tanımlanır.

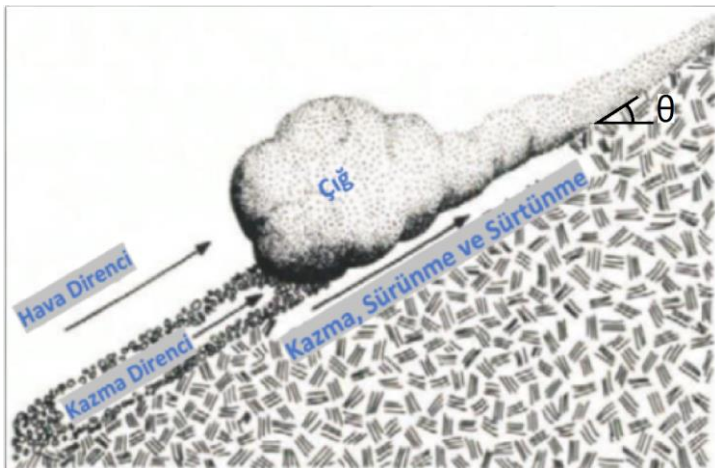
$$\frac{d}{dt}(Mv) = \sum F \quad (5.3)$$

Burada 'M', çığ hareketi boyunca gerek güzergâhtan kar katılımının olması, gerekse güzergâha kar bırakılması suretiyle değişim gösteren çığın kütlesini belirtmektedir. 'F', akan kar kütlelerine etkiyen toplam kuvvet, 'v' ise akma düzlemine paralel çığ hızıdır (Perla ve diğerleri, 1980).

Çığın patikasındaki hareketi yukarıda verilen Eşitlik 5.3'ten yararlanılarak elde edilen ve aşağıda verilen Eşitlik 5.4 ile ifade edilir.

$$Mv \frac{dv}{ds} + v^2 \frac{dM}{ds} = Mg \sin \theta - R \quad (5.4)$$

Burada 's' kütle merkezinin güzergâh üzerindeki başlangıçtan itibaren konumunu, 'g' yer çekimi ivmesini, 'θ' kayma yüzeyinin eğim açısını, 'R' ise Şekil 5.11'de gösterilen ve çığ hareketine karşı oluşan sürünme, kazma ve sürtünme dirençlerinin toplamını ifade etmektedir.



Şekil 5.11. Çığın hızlanmasına karşı koyan kuvvetler (Perla ve diğerleri, 1980).

Sürünme, kazma ve sürtünme dirençlerinin toplamını gösteren  $R$  ifadesi, çığın hızına, şekline, kütesinin dağılımına, kar özelliklerine, güzergâh pürüzlülüğü ve bununla ilintili diğer faktörlere bağlı olup bu ilişki oldukça karmaşıktır. Voellmy (1955) tarafından önerilen modelde olduğu gibi  $R$ 'nin güzergaha etkiyen normal kuvvetin doğurduğu sürünme direnci ile orantılı olduğu kabul edilir ve güzergah boyunca mevcut yerel merkezci eğrilik etkileri de dikkate alınırsa  $R$ , aşağıda verilen Eşitlik 5.5 ile ifade edilebilir.

$$R = \mu M (g \cos \theta \pm v^2 / r) \quad (5.5)$$

Burada  $\mu$  sürtünme katsayısı,  $r$  ise yerel eğrisellik yarıçapıdır.

Yine Voellmy (1955) tarafından önerildiği üzere,  $R$ 'nin içerdiği sürünme ve kazma dirençlerinin,  $kv^2$  şeklinde ifade edilen eylemsizlik terimi tarafından domine edildiği kabul edilir ve  $R$ 'yi veren ifade Eşitlik 5.4'te yerine yazılır ise Eşitlik 5.6 elde edilir.

$$Mv \frac{dv}{ds} = Mg(\sin \theta - \mu \cos \theta) - v^2 \left( \frac{\mu M}{r} + \frac{dM}{ds} + k \right) \quad (5.6)$$

Eşitlik 5.6'nın en sağındaki terimin parantez içindeki kısmı aşağıda verilen Eşitlik 5.7 ile ifade edilir ve Eşitlik 5.6 buna göre yeniden düzenlenirse Eşitlik 5.8 elde edilir.

$$D(s) = \frac{\mu M}{r} + \frac{dM}{ds} + k \quad (5.7)$$

$$\frac{1}{2} \frac{dv^2}{ds} = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) - \frac{D}{M} v^2 \quad (5.8)$$

Eşitlik 5.8'in çözümleri  $\mu$  ve  $\frac{D}{M}$  olmak üzere iki ayarlanabilir değişken parametreye bağlıdır.

Burada verilen  $\frac{D}{M}$  ifadesi kütle – sürünme oranının fiziksel bir yorumu olup birimi metredir.

Eşitlik 5.8, ‘v<sup>2</sup>’ ifadesi içeren doğrusal diferansiyel bir denklemdir. Denklemdaki  $\theta$ ,  $\mu$  ve  $M/D$  parametreleri ‘s’ ye bağlı olduğundan bu denklemin analitik çözümleri uygulama için oldukça meşakkatlidir. Bunun yerine Perla ve diğerleri (1980), Körner (1976) tarafından önerilen iteratif çözüm prosedürü uygulanmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir.

Bu iteratif çözüm prosedürü için çığ güzergâhı öncelikle her bir parçada eğim açısının sabit olacağı küçük bölümlere ayrılır. Her bir bölüm için  $\theta$ ,  $\mu$  ve  $M/D$  değerleri belirlenir. Eğer i’inci bölümün başlangıç hızı  $V_i^A$  ve bu bölümün herhangi bir yerinde çığ durmuyor ise bu bölümün sonundaki çığ hızı  $V_i^B$  aşağıda verilen Eşitlik 5.9 ile bulunur.

$$V_i^B = \left[ \alpha_i (M/D)_i (1 - \exp \beta_i) + (V_i^A)^2 \exp \beta_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.9)$$

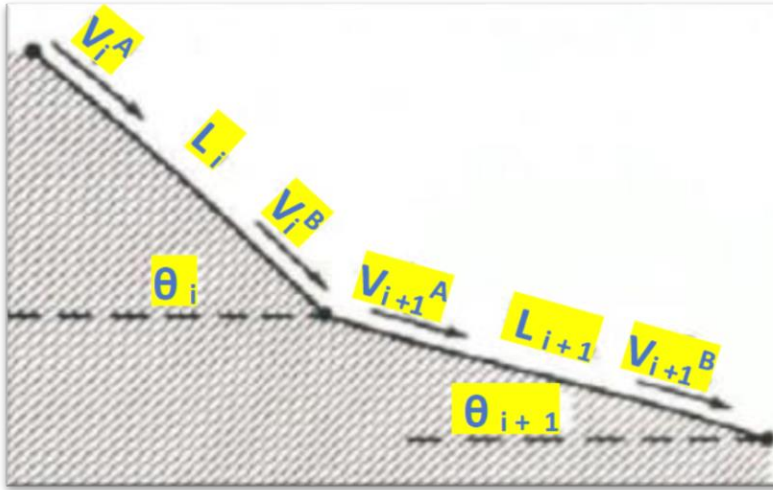
Burada  $\alpha_i = g(\sin \theta_i - \mu_i \cos \theta_i)$  ve  $\beta_i = -2 L_i / (M/D)_i$  ’dir.

Eğer çığ, i’inci bölümde durursa i’inci bölümün başından itibaren çığın durma mesafesi aşağıda verilen Eşitlik 5.10 ile bulunur.

$$S = \frac{(M/D)_i}{2} \ln \left[ 1 - \frac{(V_i^A)^2}{\alpha_i (M/D)_i} \right] \quad (5.10)$$

Şekil 5.12’de temsili bir çığ güzergâhında “Bölüm i” ve “Bölüm i+1” olarak tanımlanan ardışık iki bölüm gösterilmektedir. Şekil 5.12’de gösterilen  $V_i^B$  Eşitlik 5.9 ile hesaplanır ve  $V_{i+1}^A$ ’nın hesabında kullanılır.

Eğer  $\theta_i < \theta_{i+1}$  ise  $V_{i+1}^A = V_i^B$  olarak alınır, eğer  $\theta_i \geq \theta_{i+1}$  ise o zaman doğrusal momentumun korunumuna dayanan bir düzeltme katsayısı kullanılmak suretiyle  $V_{i+1}^A = V_i^B \cos(\theta_i - \theta_{i+1})$  olarak hesaplanır.



Şekil 5.12. Bir çığ güzergâhı boy kesitindeki temsili ardışık bölümler (Perla ve diğerleri, 1980).

Her bir bölüm için gerekli olan  $\theta$  değeri araziden elde edilirken  $\mu$  ve  $M/D$  değerleri ise çalışılan güzergâh için mevcut verilerden kabaca tahmin edilebilmektedir.

Voellmy (1955) tarafından yoğunluğu çok düşük ( $10 \text{ kg/m}^3$ ) toz bulutu şeklinde akan çığlar için  $\mu < 0,1$  olduğu iddia edilmesine karşın Bovis ve Mears (1976) tarafından derlenmiş verilere dayanarak yapılan çalışmada ise  $\mu$  için iddia edilen bu durumun geçerliliğinin ortaya konulmasının oldukça zor olduğunu belirtmişlerdir. Gözlemler  $\mu$  'nün aldığı değerlerin 0,5'den küçük olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla  $\mu$  için olası değer aralığı 0,1 – 0,5 olup hesaplamalarda bu aralıkta kalan değerlerin kullanılması mantıklı olacaktır.

$M/D$  ifadesinin alabileceği değer aralığı aşağıda verilen Eşitlik 5.11 kullanılmak suretiyle tahmin edilebilir.

$$V_t = \left[ \frac{Mg}{D} (\sin \theta - \mu \cos \theta) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.11)$$

Voellmy (1955) ve Perla (1980) gibi araştırmacılar tarafından bazen büyük ve kuru kardan oluşan çığların hızlarının 50 m/s mertebelerine ulaştıkları hatta kimi zamanlar 100 m/s'lere dahi ulaşabildikleri rapor edilmiştir. Bu hızlar dikkate alındığında ve Eşitlik 5.11

kullanıldığında  $M/D$  ifadesinin  $10^3$  m büyüklüğüne ulaşabildiği hatta bunu da geçebildiği görülür. Nispeten daha yavaş hareket eden ( $v \approx 10$  m/s) ıslak kar çığları için  $M/D$  ifadesi  $10^2$  m gibi daha düşük değerleri alabilmektedir. Dolayısıyla  $M/D$  ifadesi  $10^2$  m –  $10^4$  m aralığında (hatta  $10$  m –  $10^5$  m aralığında) değerler alabilmektedir.

Resim 5.31’de pilot sahada çalışılan Kocadere’ye ait çığ güzergâhı, söz konusu güzergâhta Ocak 2013 tarihinde meydana gelen çığın kopma (başlama) bölgesi ile durma bölgesi, çığda zarar görerek işletmeye kapatılan kayak merkezinin konumu gösterilmektedir. Resim 5.31’in altlığı 1/5.000 ölçekli güncel ortofoto görüntüsü olup Tarım Reformu Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir.

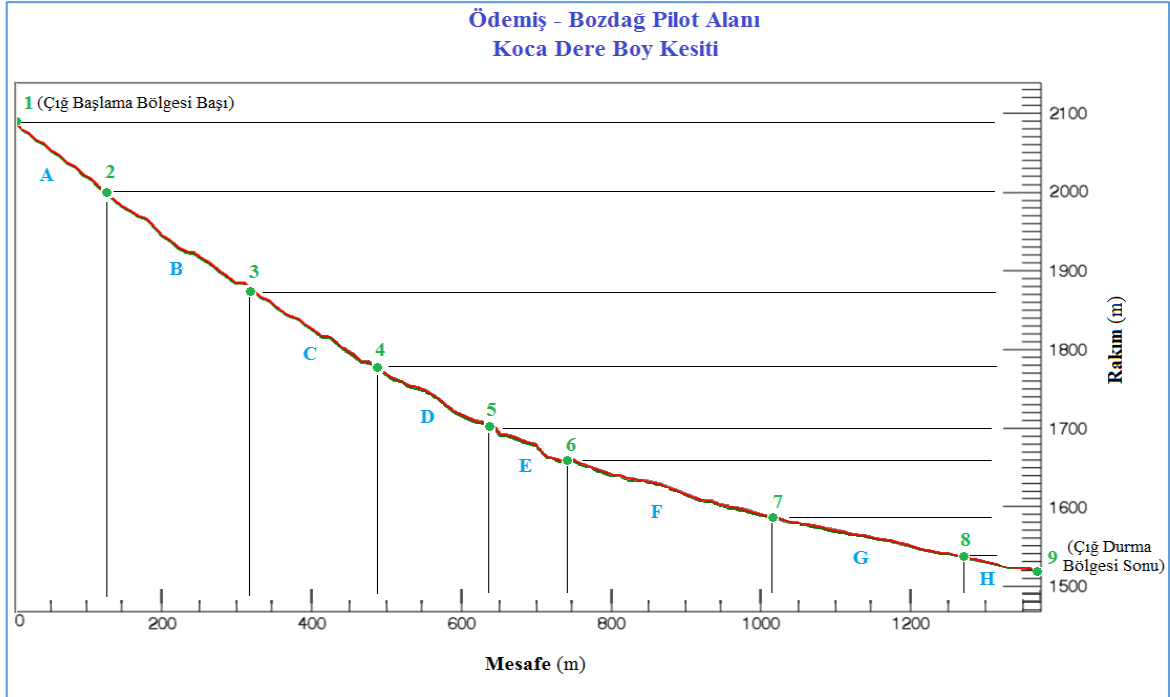


Resim 5.31. Kocadere çığ güzergâhı ve Kayak Merkezinin planda görünüşü.

Bozdağ pilot sahasında çalışılan Kocadere için Ocak 2013 tarihinde meydana gelen çığ güzergâhının topoğrafyası, başladığı ve durduğu bölgeler bilindiğinden yukarıda kavramsal çerçevesi verilen kütle merkezli modelin programı yazılmış ve bu veriler söz konusu programa girilmiştir.



Kocadere ı güzergâhına ait boy kesit ve bu boy kesit üzerinde programda kullanılmak üzere oluşturulan bölümler şekil 5.13'te gösterilmektedir.



şekil 5.13. Kocadere ı güzergâhının boy kesiti.

şekil 5.13'te gösterildiği üzere Kocadere ı güzergahına ait profil, eğim açısı her bir bölüm için yaklaşık olarak sabit olacak şekilde toplamda 8 adet bölüme (A, B, C, D, E, F, G ve H) ayrılmıştır. Söz konusu bölümlere ait başlangıç ve bitiş noktaları, bu noktalara ait koordinatlar (yatayda başlangıca olan mesafesi, düşeyde ise rakımı), uzunluk ve ortalama eğim açıları izelge 5.47'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.47. Kocadere ı güzergâhına ait boykesitin bölümleri ve bu bölümlere ait bilgiler

| Bölümler | Başlangıç Noktası                           | Bitiş Noktası     | Uzunluk  | Ortalama Eğim<br>Açısı |
|----------|---------------------------------------------|-------------------|----------|------------------------|
|          | (Noktanın başlangıca mesafesi ve<br>rakımı) |                   |          |                        |
| A        | 1 (0 m; 2090 m)                             | 2 (130 m; 2000 m) | 158,11 m | 34,70 °                |
| B        | 2 (130 m; 2000 m)                           | 3 (310 m; 1870 m) | 222,04 m | 35,84 °                |
| C        | 3 (310 m; 1870 m)                           | 4 (480 m; 1780 m) | 192,35 m | 27,90 °                |
| D        | 4 (480 m; 1780 m)                           | 5 (640 m; 1700 m) | 178,89 m | 26,57 °                |
| E        | 5 (640 m; 1700 m)                           | 6 (745 m; 1655 m) | 114,24 m | 23,20 °                |

Çizelge 5.47. (devam) Kocadere çığ güzergâhına ait boykesitin bölümleri ve bu bölümlere ait bilgiler

| Bölümler | Başlangıç Noktası                        | Bitiş Noktası      | Uzunluk  | Ortalama Eğim Açısı |
|----------|------------------------------------------|--------------------|----------|---------------------|
|          | (Noktanın başlangıca mesafesi ve rakımı) |                    |          |                     |
| F        | 6 (745 m; 1655 m)                        | 7 (1010 m; 1582 m) | 274,87 m | 15,40 °             |
| G        | 7 (1010 m; 1582 m)                       | 8 (1270 m; 1538 m) | 263,70 m | 9,61 °              |
| H        | 8 (1270 m; 1538 m)                       | 9 (1380 m; 1520 m) | 111,46 m | 9,29 °              |

Yazılan programa verilen girdi bilgileri ve program tarafından üretilen çıktılar ise Çizelge 5.48’de gösterilmektedir.

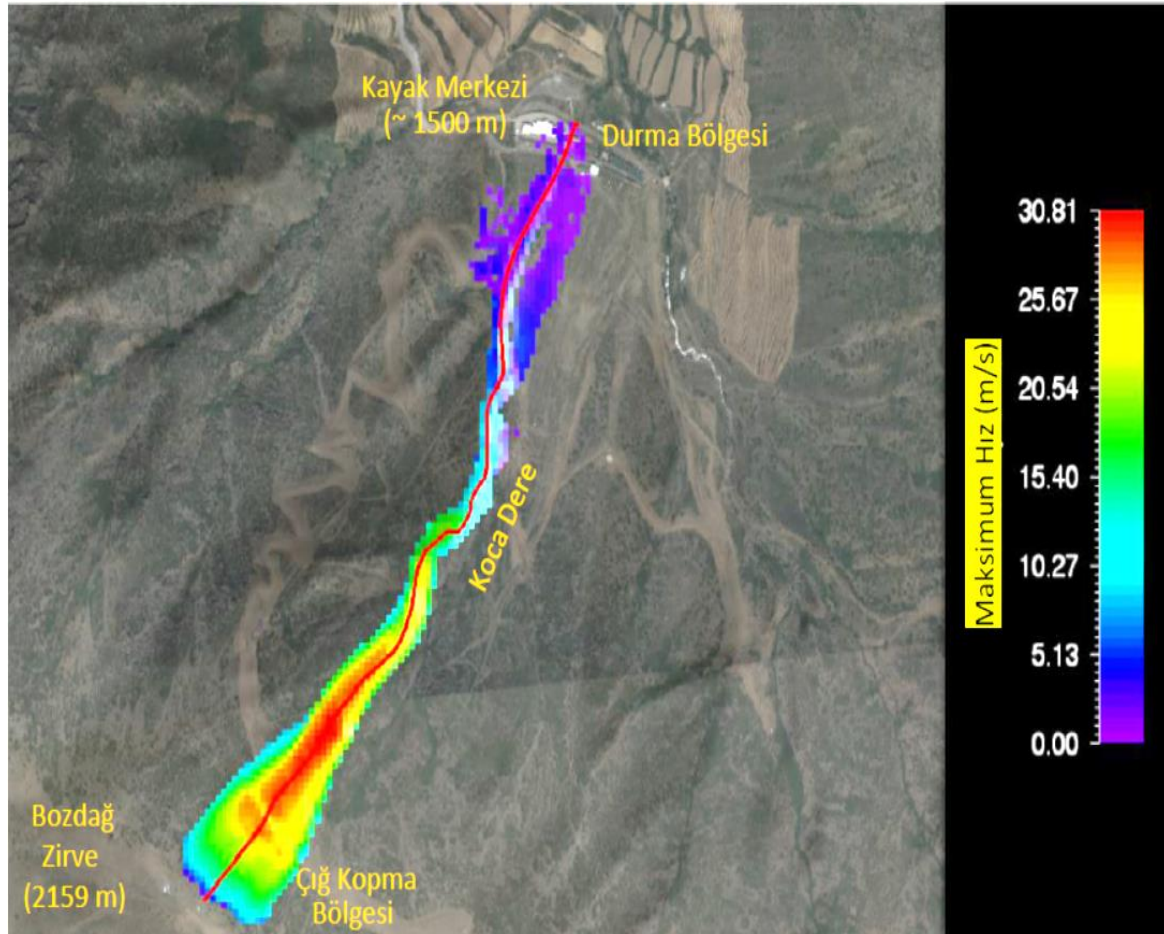
Çizelge 5.48. Kocadere çığ güzergâhı için kullanılan program girdileri ve çıktıları

| Bölümler | Program Girdileri |                     | Program Çıktıları    |                      |
|----------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|          | Uzunluk           | Ortalama Eğim Açısı | V <sub>A</sub> (m/s) | V <sub>B</sub> (m/s) |
| A        | 158,11 m          | 34,70 °             | 0,00                 | 30,47                |
| B        | 222,04 m          | 35,84 °             | 30,47                | 43,50                |
| C        | 192,35 m          | 27,90 °             | 43,08                | 44,59                |
| D        | 178,89 m          | 26,57 °             | 44,57                | 44,75                |
| E        | 114,24 m          | 23,20 °             | 44,67                | 43,41                |
| F        | 274,87 m          | 15,40 °             | 43,01                | 33,15                |
| G        | 263,70 m          | 9,61 °              | 32,98                | 15,86                |
| H        | 111,46 m          | 9,29 °              | 15,86                | 0,32                 |

Profilde membadan (başlangıç bölgesi) itibaren ilk bölüm olan A bölümüne ait 1 noktasındaki başlangıç hızı bu bölgede çığın başladığı durumda hızı olmadığı için = 0 m/s şeklinde başlangıç sınır şartı olarak girilmiştir. Son bölüm olan B bölümüne ait 9 noktasındaki hızı (V<sub>B</sub>) sıfır yapmak için yukarıda belirtildiği üzere uygun aralıklarda kalacak şekilde farklı  $\mu$  ve  $\frac{M}{D}$  değerleri ile çalışılmıştır.  $\mu = 0.26765$  ve  $\frac{M}{D} = 1000$  m değerleri için 9 noktasında sıfıra en yakın hız V<sub>B</sub> = 0,32 m/s olarak bulunmuştur. Bu durumda Eşitlik 5.10’dan hesaplanan durma mesafesi (S) 111,515 m’dir. Yani çığ başlangıç noktasından itibaren 1270 + 111,515 = 1381,515 m de durmuştur.

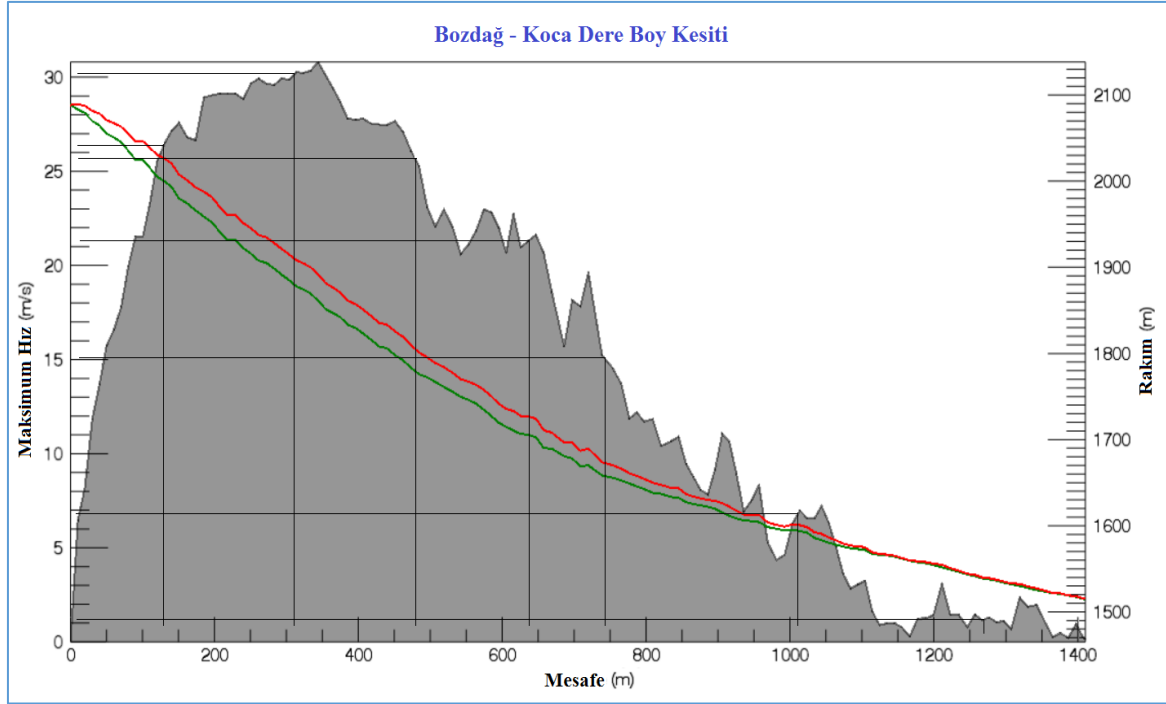
Programın bölümler için hesapladığı ara noktadaki hızları (2 – 8 numaralı noktalardaki  $V_A$  ve  $V_B$ 'ler), Ocak 2013 tarihli çığ için ölçülmüş hız verileri bulunmadığından eldeki gerçek veriler ile doğrulama veya değerlendirme imkânı bulunmamaktadır. Bu nedenle bu noktalardaki hızlar söz konusu çığ patikası için tez kapsamında kullanılan RAMMS programında üretilen hızlar ile mukayese edilmiştir.

Aşağıda verilen Resim 5.32'de aynı çığ güzergahı için RAMMS programı tarafından verilen maksimum hızların plandaki görünüşü, Şekil 5.14'te ise kırmızı hat boyunca oluşturulan profil üzerinde oluşan maksimum hızlar gösterilmektedir.



Resim 5.32. Kocadere çığ güzergâhı için RAMMS programının ürettiği maksimum hızların plandaki görünümü

Çizelge 5.48'de verilen hızlar ile Şekil 5.14'te verilen hızlar dikkate alındığında kütle merkezli model tarafından 2 – 8 noktaları için bulunan hız değerlerinin, söz konusu çığ patikası için RAMMS programının verdiği hız değerlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. İki farklı modelden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.49'da gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Kocadere çığ güzergâhı üzerinde RAMMS programının ürettiği maksimum hızlar

Çizelge 5.49. Kocadere çığ güzergâhı için RAMMS ve Kütle Merkezi Modeli hız çıktıları

| Bölümler | RAMMS                        |                          | Kütle Merkezi Modeli         |                          |
|----------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
|          | Başlangıç Noktası Hızı (m/s) | Bitiş Noktası Hızı (m/s) | Başlangıç Noktası Hızı (m/s) | Bitiş Noktası Hızı (m/s) |
| A        | 0,00                         | 26,40                    | 0,00                         | 30,47                    |
| B        | 26,40                        | 30,20                    | 30,47                        | 43,50                    |
| C        | 30,20                        | 25,80                    | 43,08                        | 44,59                    |
| D        | 25,80                        | 21,20                    | 44,57                        | 44,75                    |
| E        | 21,20                        | 15,10                    | 44,67                        | 43,41                    |
| F        | 15,10                        | 6,90                     | 43,01                        | 33,15                    |
| G        | 6,90                         | 1,15                     | 32,98                        | 15,86                    |
| H        | 1,15                         | 0,00                     | 15,86                        | 0,32                     |

Çizelge 5.49’da verilen RAMMS ve Kütle Merkezi modellerinden elde edilen hızlar karşılaştırıldığında arada fark olmakla birlikte tek boyutlu bir model olan kütle merkezli modelin bölgedeki benzer çığ güzergâhlarının ön etüt aşaması için pratik ve hızlı bir kullanım imkânı sunacağı değerlendirilmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda yorumlamalar yapılmış ve konu ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Tezin temel amacı, gerçekleşmiş çığa ait verileri bulunan ülkemizdeki bir çığ güzergâhında çığ hareketinin davranışını sayısal bir model (RAMMS) kullanarak irdelemek olup buna yönelik üç ana kapsamda çalışma gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak, pilot sahada seçilen Kocadere çığ güzergahı üzerinde aynı başlangıç koşullarına sahip simülasyonlarda programın kullandığı sayısal topoğrafik harita altlığının sonuçlara etkisi irdelenmiştir. Bu amaçla, seçilen pilot alan için 1/25000 ve 1/5000 olacak şekilde iki farklı ölçekli haritadan farklı hücre boyutlarında (10 m x 10 m ve 20 m x 20 m) altlıklar üretilmiştir.

Hazırlanan bu altlık haritalar kullanılarak programdan elde edilen simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Aynı harita altlıklarında, aynı kopma derinlikleri ile oluşturulan simülasyonlardan edilen maksimum derinlik ve maksimum hız sonuçlarının aynı olduğu ve bunların kar yoğunluğu değişimlerinden etkilenmediği ancak maksimum basınç değerlerinin ise kar yoğunluğunun azalması oranında küçüldüğü görülmektedir.
- Aynı harita altlıklarında ve aynı kar yoğunlukları için, farklı kopma derinlikleri kullanılarak simülasyonlar elde edilmiştir. Bu simülasyon sonuçlarına göre girilen kopma derinlikleri küçüldükçe programın ürettiği maksimum çığ derinlikleri, hızlar ve basınçların da farklı oranlarda küçüldüğü görülmüştür.
- Aynı kar yoğunluğu ve kopma derinliklerine sahip simülasyonlarda, üzerinde çalışılan harita ölçeğinden bağımsız olarak, hücre boyutu büyüdükçe elde edilen maksimum çığ derinlikleri, hızlar ve basınçların küçüldüğü görülmüştür.
- Farklı ölçekli haritalardan, aynı hücre boyutlu olarak üretilmiş coğrafi altlıkların kullanıldığı simülasyonlar sonucu elde edilen parametrelerin maksimum değerleri ( $h_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $P_{max}$ ) arasındaki farkların; Aynı ölçekli haritalardan, farklı hücre boyutlu olarak üretilmiş coğrafi altlıkların kullanıldığı simülasyonlar sonucu elde edilen parametrelerin

maksimum değerleri ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) arasındaki farklardan daha az olduğu görölmüştür.

- Aynı harita altlıklarında ve aynı başlangıç kopma derinlikleri için farklı kar yoğunlukları kullanılarak yapılan simölasyonlarda elde edilen maksimum derinliklerin ve hızların aynı yerde olduğu görölmüştür.
- Aynı harita altlıkları ve kopma derinlikleri kullanılarak elde edilen maksimum derinlik ve hızların aynı en-kesitlerde aynı değere sahip olduğu ve bunların kar yoğunluğu değişimlerinden etkilenmediği görölmüştür.
- Aynı harita altlıkları ve kar yoğunlukları için kopma derinlikleri küçüldükçe aynı kesitlerde elde edilen maksimum derinliklerin, hızların ve basınçların da küçüldüğü görölmüştür.

Yukarıda verilen bulgular, sayısal topoğrafik harita altlığının simölasyon sonuçlarına etkilerini genel bir eğilim olarak vermekte olup söz konusu değişimlerle ilgili detaylı sonuçların rakamsal ve oransal değerleri ise bölüm 5.4.1’de ayrıntıları ile verilmiştir.

İkinci olarak, Kocadere çığ güzergâhı üzerinde uygulanan sayısal modelin ürettiği sonuçlar, söz konusu çığ güzergâhına ait gerçek veriler ile birlikte irdelenmiştir.

20 Ocak 2013 tarihinde Kocadere çığ güzergahında meydana gelen çığın hareketine göre türü, çığa ait kırılma hattı ve kopma bölgesi, kopma derinliği, durma bölgesi, durma bölgesindeki kar yükseklikleri, çığın durma bölgesinde bulunan kayak tesisine çarpma yönü ve uyguladığı çarpma basıncı ile ilgili bilgiler mevcut olup bunlar program tarafından gerçekleştirilen simölasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar ile ilgili detaylar bölüm 5.4.2’de ayrıntıları ile verilmektedir.

Program tarafından gerçekleştirilen çığ simölasyonu, pilot havzadaki Kocadere çığ güzergâhı için çığın türü, durduğu bölge, durma bölgesinde üretilen basınçlar ve kar yükseklikleri açısından gerçek çığ verileri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Ancak, söz konusu programın ölkemizdeki çığ güzergâhları için uygun bir sayısal model olup olmadığının tespiti için bu programın güzergâh tipi, rakımı ve bitki örtüsü farklı, gerçekleşmiş çığlara ait kopma bölgesi, kopma derinliği, durma mesafesi, durma mesafesindeki çarpma basınçları ve kar yükseklikleri bilgilerinin mevcut olduğu başka bölgelerdeki çığ güzergâhlarında da denenmesinin uygun olacağı düşünölmektedir.

Üçüncü ve son olarak ise kütle merkezi çığ modeli kavramsal olarak irdelenmiş, söz konusu modelin çığ patikalarındaki kullanım uygunluğu sorgulanmıştır. Bunun için kütle merkezi modeli seçilen Kocadere çığ güzergâhında çalıştırılmış, model çıktıları çalışılan çığ güzergâhına ait gerçek veriler ile doğrulanmış ve söz konusu modelin ürettiği hızlar ile sayısal modelin ürettiği hızlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar ile ilgili detaylar bölüm 5.4.3’de ayrıntıları ile verilmektedir.

Kütle merkezi modelinin ürettiği hız sonuçları ile sayısal modelin ürettiği maksimum hız sonuçları karşılaştırıldığında, kütle merkezi modelinin bölgedeki benzer çığ güzergâhlarının ön etüt çalışmalarında kullanılmak üzere kolay ve hızlı bir kullanım imkânı sunacağı değerlendirilmektedir.

### Öneriler

Kullanılan sayısal model programı tarafından gerçekleştirilen simülasyonlara ait çıktıların pilot havzada seçilen Kocadere çığ güzergahında gerçek çığ verileri ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüş olmakla birlikte söz konusu sayısal modelin ülkemizdeki çığ güzergâhları için uygun olup olmadığının tespiti için farklı bölgelerde de sınanması uygun olacaktır.

Kullanılan sayısal model programı ile oluşturulan simülasyon sonuçlarının simülasyonlarda kullanılan altlıkların üretildiği haritanın ölçeğinden ve altlığın hücre boyutundan etkilendiği görülmüştür.

Dolayısıyla, çığ potansiyeli olan bir bölgede yapılması planlanan tesislerin çığa maruz kalıp kalmadığının tayini ve bu yapıya etkiyebilecek olası çığ basıncı ve kar derinliğinin tahmini için özellikle söz konusu tesisler yüksek önemiyet arz eden bir tesis ise tasarımda güvenli tarafta kalmak adına mümkünse güncel ve büyük ölçekli haritadan üretilen küçük hücre boyutlu altlıkta çalışılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde yapılan çığ çalışmalarında en büyük problemlerden birisi de meteorolojik ve kar örtüsüne ait kayıtların bulunmayışıdır. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda söz konusu parametrelerin kayıt altına alınması elzemdir. Bu konularda yapılacak olan çalışmalara ağırlık verilmelidir.





## KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2015). *Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması – Çığ Temel Kılavuzu*. Ankara, 41.
- Afet İşleri Genel Müdürlüğü. (1998). İzmir Bozdağ Kayak Merkezine ait 15.05.1998 tarihli Etüd Raporu; AFET, Ankara, 3 – 5.
- Amt der Tiroler Landesregierung/Office of Tyrolean Government. (1996). *Lawinenhandbunch*. Tyrolia, Innsbruck, 38-39.
- Arons, E. M., Colbeck, S. C., and Gray, J. M. N. T. (1998). Depth hoar growth rates near a rocky outcrop. *Journal of Glaciology*, 44(148), 477–484.
- Arslan, G. (2014). *Çığ sayısal modeli uygulaması: Uzungöl - Dorinori Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.
- Atwater, M. M. (1954). Snow avalanches. *Scientific American*, 190(1), 26-31.
- Aydın, A. (2010). Comparing the performance of base map scales in GIS-based avalanche simulation: a case study from Palandöken, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 61(7), 1467-1472.
- Aydın, A., Bühler, Y., Christen, M. and Gürer, İ. (2014). Avalanche situation in Turkey and back calculation of selected events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), 1145-1154.
- Bakkehoi, S., Domaas, U. and Lied, K. (1983). Calculation of snow avalanche run-out distance. *Annals of Glaciology*, 4(1983), 24-29.
- Bovis, M. J., and Mears, A. I. (1976). Statistical prediction of snow avalanche run-out from terrain variables in Colorado. *Arctic and Alpine Research*, 8(1), 115-120.
- Bozhinskiy, A. N. and Losyev, K. S. (1998). The Fundamentals of Avalanche Science, *Eidgenössische Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF Report*, Davos, Switzerland, 280.
- Buser, O. and Frutiger, H. (1980). Observed maximum run-out distance of snow avalanches and the determination of the friction coefficients  $\mu$  and  $\xi$ . *Journal of Glaciology*, 26 (94), 121 – 130.
- Christen, M., Bartelt, P. and Gruber, U. (2002). AVAL-1D Numerische Berechnung von Fließ und Staublawinen, *WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung*, Davos, 25-28.
- Christen, M., Bartelt, P., Kowalski, J. and Stoffel, L. (2008). Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. *International Snow Science Workshop Book*, Whistler, USA, pp. 709-716.

- Christen, M., Kowalski, J. and Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 63(1), 1-14.
- Conway, H. and Wilbour C. (1999). Evolution of snow slope stability during storms, *Cold Regions Science and Technology*, 30, 67–77.
- De Quervain, M. R., De Crecy, L., LaChapelle, E. R., Losev, K. and Shoda, M. (1973). Avalanche classification. *Hydrological Sciences Bulletin*, 18(4), 391-402.
- De Quervain, M. R. (1966). Problems of avalanche research, in Symposium at Davos 1965—Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, *International Association of Hydrological Sciences*, 69, 1–8.
- Delparte, D., Jamieson, B. and Waters, N. (2008). Statistical run-out modeling of snow avalanches using GIS in Glacier National Park, Canada. *Cold Regions Science and Technology*, 54, 183-192.
- Durak, E. (2011). *Türkiye koşulları için çığ düşmesi sonucu bina hasar görülebilirlik derecesinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.
- Endo, Y. (1991). Time variation of stability index in new snow on slopes. *Proceedings Book of the Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control*. Tsukuba, Japan, pp. 85–94.
- Fischer, J. T., Kowalski, J. and Pudasaini, S. P. (2012). Topographic curvature effects in applied avalanche modeling. *Cold Regions Science and Technology*, 74-75, 21-30.
- Föhn, P. M. B. (1980). Snow transport over mountain crests, *Journal of Glaciology*, 26(94), 469–480.
- Föhn, P. and Meister, R. (1981, April). *Determination of avalanche magnitude and frequency by direct observations and/or with aid of snow cover data*. Paper presented at proceedings IUFRO/FAO collegium on research in small torrential watersheds (incl. Avalanches), Grenoble.
- Föhn, P., Stoffel, M. and Bartelt, P. (2002). Formation and forecasting of large (catastrophic) new snow avalanches. *Proceeding book of the 2002 International Snow Science Workshop*. Penticton, BC, pp. 141-148.
- Frey, W., Frutiger, H. and Good, W. (1987). Openings in the forest caused by forest depersishment and their influence on avalanche danger, in Human Impacts and Management of Mountain Forests, edited by T., Fujimori and M. Kimura, pp. 223–238, Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, Japan.
- Fukushima, Y. and Parker G. (1990). Numerical simulation of powder-snow avalanches. *Journal of Glaciology*, 36(123), 229-237.

- Gauer, P. (1999). Blowing and Drifting Snow in Alpine Terrain: A Physically-Based Numerical Model and Related Field Measurements, *Eidgenössische Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF Report*, Davos, Switzerland, 128.
- Gauer, P., Kern, M., Kristensen, K., Lied, K., Rammer, L. and Schreiber, H. (2007). On pulsed Doppler radar measurements of avalanches and their implication to avalanche dynamics. *Cold Regions Science and Technology*, 50(1), 55-71.
- Gauer, P., Kronholm, K., Lied, K., Kristensen, K. and Bakkehoi, S. (2010). Can we learn more from the data underlying the statistical  $\alpha$ - $\beta$  model with respect to the dynamical behavior of avalanches?, *Cold Regions Science and Technology*, 62(1), 42-54.
- Gleason, J. A. (1995). Terrain parameters of avalanche starting zones and their effect on avalanche frequency. *Proceedings book of the International Snow Science Workshop*. Snowbird, Utah, U.S.A., pp. 393-404.
- Granig, M. and Margreth, S. (2015). Avalanche dynamics: models and impact. In Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. and Mears, A. I. (Eds.), *The Technical Avalanche Protection Handbook*. Berlin, Germany, p. 66.
- Granig, M., Fischer, J. and Jörg, P. (2013). Systematic practical evaluation of snow entrainment with the avalanche simulation model SamosAT. *Proceedings book of the International Snow Science Workshop*. Grenoble, France, pp. 599 -603.
- Grigorian, S. and Ostroumov, A. (1977). The mathematical model for slope processes of avalanche type; *Institute for Mechanics, Moscow State University Scientific Report*, Moscow, Russia, 37 -42.
- Gubler, H. and Rychetnik, J. (1991). Effects of forests near the timberline on avalanche formation. *International Association of Hydrological Sciences*, 205, 19-38.
- Gürer, İ. (2001). *Türkiyede Çığ ile İlgili Yapılan Çalışmaların Tarihçesi ve İstatistiksel Değerlendirmeler*. I. Ulusal Kar ve Çığ Semineri. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gürer, İ. ve Koçyiğit, Ö. (1995). Ağaçlandırma ve Orman Örtüsünün Kar, Kürtün ve Çığ Oluşumuna Etkileri. *Orman Mühendisliği Dergisi*, Ankara.
- Gürer, İ. ve Koçyiğit, Ö. (1997a). *Çığ Bariyerlerinin Projelendirilmesi*. İnşaat Mühendisleri Teknik Kongresi, İzmir.
- Gürer, İ. ve Koçyiğit, Ö. (1997b). *Kar Kuvvetlerinin Yapılar Üzerindeki Etkileri*. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu. DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gürer, İ. and Naaim, M. (1993). *18 Ocak 1993'te Kuzey Doğu Bölgesinde Bayburt – Üzengili'de Çığ Olayları*. 2. Avalanche Dynamics Workshop, Innsbruct, Avusturya.
- Gürer, İ., Koçyiğit, Ö., ve Koç, M. (1996b). Türkiye'de Çığ Afetinin İnsan Yerleşimleri Açısından Değerlendirilmesi. *Yapı Dünyası Dergisi*, 7, 17-22.

- Gürer, İ., Tümer, F., Yavaş, Ö., Erenbilge, T., ve Koçyiğit, Ö. (1996a). *Türkiye'deki Çığ Probleminin Çözümünde Uluslararası İşbirliği*. Symposium on International Cooperation in Disasters, Ankara.
- Gürer, İ., ve Tunçel, H. (1995, Nisan). *Türkiye'deki çığ sorunu ve bugünkü durum*. A. Ü. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi II. Sempozyumunda sunuldu, Ankara.
- Harbitz, C. (1998). Snow avalanche modelling, mapping and warning in Europe, *A report of the fourth European framework programme (SAME): environment and climate*, Oslo, Norway, 134.
- Hopfinger, E. J. (1983). Snow avalanche motion and related phenomena. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 15, 47-76.
- Issler, D. (2003). Experimental information on the dynamics of dry-snow avalanches. In K. Hutter, N. Kirchener (Eds.), *Dynamic response of granular and porous materials under large and catastrophic deformations*. Springer, Heidelberg, Berlin, pp. 109-160.
- Issler, D., Lied, K., Rammer, L., Revol, P., Sabot, F., and Sovilla, B. (1999). European avalanche test sites: overview and analysis in view of coordinated experiments, *Eidgenössische Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF Report*, Davos, Switzerland, 117-119.
- İnternet1: 18 Ocak 1993 tarihli Bayburt Postası Gazetesi ve yıkım haberi verilen köy camisinin sonradan tamir edilmiş hali. Cipec.URL1: <http://www.webcitation.org/733bTjbge>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet2: Blok Kar Çığı. Cipec.URL2: <http://www.webcitation.org/733fbper9>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet3: Çığ patikasına ait bölümler. Cipec.URL3: <http://www.webcitation.org/736nGe2VG>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2018.
- İnternet4: Çığ Tipleri. Cipec.URL4: <http://www.webcitation.org/736lm1YUf>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2018.
- İnternet5: Çığ türlerine göre kullanılması önerilen kohezyon değerleri. Cipec.URL5: <http://www.webcitation.org/736wsUhPQ>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2018.
- İnternet6: Gevşek Kar Çığı. Cipec.URL6: <http://www.webcitation.org/733dPfmv5>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet7: Karışık Kar Çığı. Cipec.URL7: <http://www.webcitation.org/733g5R5Sf>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet8: RAMMS tarafından üretilen örnek bir simülasyon sonucu. Cipec.URL8: <http://www.webcitation.org/733iY6YsA>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.

- İnternet9: Tabaka Çığı. *Cipec*.URL9: <http://www.webcitation.org/733doh4fv>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet10: Tabaka çığına ait başlama bölgesi. *Cipec*.URL10: <http://www.webcitation.org/733hcGwWP>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet11: Tabaka çığına ait patikanın detaylandırılmış bölümleri. *Cipec*.URL11: <http://www.webcitation.org/733hcGwWP>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet12: Toz Kar Çığı. *Cipec*.URL12: <http://www.webcitation.org/733eD2Oya>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2018.
- İnternet13: Ram (çarpma) etkisi ile penetrometre ölçümü yapan aletlerin 1939 yılında yapılan ilk örnekleri. *Cipec*.URL13: <http://www.webcitation.org/73BraLSWt>, Son Erişim Tarihi: 15.10.2018.
- Johnston, K., Jamieson , B. and Jones, A. (2011). *Estimating extreme snow avalanche run-out for the Columbia Mountains, British Columbia, Canada*. In Proceedings of the 5th Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards. Kelowna.
- Jörg, P., Sampl, P. and Granig, M. (2010, September). *Implementation of a new suspension model and calibration of the powder snow layer in SamosAT*. Paper presented at European Geophysical Union General Assembly Conference, Vienna.
- Kern, M., Bartelt, P. and Sovilla, B. (2010). Velocity profile inversion in dense avalanche flow. *Annals of Glaciology*, 51(54), 27-31.
- Kern, M., Bartelt, P., Sovilla, B. and Buser, O. (2009). Measured shear rates in large dry and wet snow avalanches. *Journal of Glaciology*, (190), 327-338.
- Kern, M., Tiefenbacher, F. and McElwaine, J. (2004). The rheology of snow in large chute flows. *Cold Regions Science and Technology*, 39(2), 181-192.
- Kitahara, I., Yoshimatsu, H. and Fujisawa, K. (1991). Study of the Mechanics of Debris Flow and its Simulation Model. *Landslides*, 28(2), 9-19.
- Koçyiğit, Ö. (1997). *Çığ Bariyerlerinin Hidrolik Boyutlandırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 73 -96.
- Koçyiğit, Ö. and Gürer, İ. (2007). Effect of the Voellmy Coefficients on Determining Run-out Distance: A Case Study at Uzungöl, Turkey. *Gazi University Journal of Science*, 20(3), 79-85.
- Koçyiğit, Ö., Tekin, E. ve Arslan, G. (2016). *Ulusal Çığ Çalışmalarına Akademik Katkı, Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)*, 2-4 Mart 2016, Karabük, 519 – 524.
- Kowalski, J. (2008). *Two-phase debris flow modeling*, Doctoral Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 106.

- Körner, H. J. (1976). Reichweite und Geschwindigkeit von Bergstürzen und Fliessschneelawinen. *Rock Mechanics*, 8(4), 225-256.
- Köse, N., Aydın, A., Akkemik, Ü., Yurtseven, H. and Güner, T. (2010). Using tree-ring signals and numerical model to identify the snow avalanche tracks in Kastamonu, Turkey. *Natural Hazards*, 54(2), 435-449.
- LaChapelle, E. R. and Ferguson, S. A. (2003). *The ABCs of Avalanche Safety* (Third edition). England: The Mountaineers Books, 48.
- Lang, T. E. and Dent, J. D. (1980). Scale modelling of snow avalanche impact on structures. *Journal of Glaciology*, 26(94), 189-196.
- Lang, T. E. and Dent, J. D. (1982). Review of surface friction, surface resistance and flow of snow. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20(1), 21-37.
- Leaf, C. F., and Martinelli, M., jr. 1977. Avalanche dynamics: engineering applications for land use planning, *U.S. Dept. of Agriculture Forest Service Report*, USA, RM-183.
- Lied, K., and Bakkehoi, S. (1980). Empirical calculations of snow avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, 26, 165 – 177.
- Lied, K., Weiler, S., Bakkehoi, S. and Hopf, J. (1995). Calculation methods for avalanche run-out distance for the Austrian Alps. The contribution of scientific research to safety with snow, ice and avalanche. *Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches Report*, Grenoble, France, 63–68.
- Logan, N. (1992). Snow temperature patterns and artificial avalanche release. *International Snow Science Workshop Book*, Breckenridge, Colorado, U.S.A., pp. 37–46.
- Maggioni, M. and Gruber, U. (2003). The Influence of Topographic Parameters On Avalanche Release Dimension and Frequency. *Cold Regions Science and Technology*, 37, 407-419.
- Maggioni, M., Gruber, U. and Stoffel, A. (2002). *Definition and characterisation of potential avalanche release areas*. In Proceedings of the ESRI Conference. San Diego, ABD.
- Margreth, S. (2015). Avalanche dynamics: models and impact. In Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. and Mears, A. I. (Eds.), *The Technical Avalanche Protection Handbook*. Berlin, Germany, pp. 70 - 72.
- McClung, D. M. (1996). Effects of temperature on fracture in dry slab avalanche release, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B10), 21907-21920.
- McClung, D. M. (2000). Extreme avalanche run-out in space and time, *Canadian Geotechnical Journal*, 37, 161-170.
- McClung, D. M. (2001). Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. *Annals of Glaciology*, 32(1), 223-229.



- McClung, D. M. (2013). Effects of triggering mechanism on snow avalanche slope angles and slab depths from field data. *Natural hazards*, 69(3), 1721-1731.
- McClung, D. M., and Schweizer, J. (1999). Skier triggering, snow temperatures and the stability index for dry slab avalanche initiation, *Journal of Glaciology*, 45(150), 190–200.
- McClung, D. and Schaerer, P. A. (2006). *The Avalanche Handbook* (Third edition). England: The Mountaineers Books, 75,92,132,200.
- Mears, A. I. (1992). Snow-avalanche hazard analysis for land-use planning and engineering, *Colorado Geological Survey, Department of Natural Resources, State of Colorado Report*. Denver CO, U.S.A., pp. 55-57.
- Bozhinskiy, A. N. and Losyev, K. S. (1998). The Fundamentals of Avalanche Science, *Eidgenössische Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF Report*, Davos, Switzerland, 280.
- Meister, R. (1989). Influence of strong winds on snow distribution and avalanche activity, *Annals of Glaciology*, 13, 195–201.
- Meister, R. (1985). *Density of new snow and its dependence on air temperature and wind, in correction of precipitation measurements*, In B. Sevruck (Eds.) *Zürcher Geographische Schriften*, Zurich: Geographie Institut, Eidgenössische Technische Hochschule Press, pp. 73–79.
- Mueller, M. (2001). Snow stability trends at Wolf Creek Pass, Colorado, *International Snow Science Workshop Book*, Big Sky, Montana, USA, pp. 147–152.
- Naaïm, M. (1998). Dense Avalanche Numerical Modeling Interaction between Avalanche and Structures. *Publikasjon-Norges Geotekniske Institutt*, 203, 187-191.
- Naaïm, M. and Ancey, C. (1992). Dense Avalanche Model, *European Summer University Report*, Chamonix, France, pp. 173-181.
- Norem, H., Irgens, F. and Schieldrop, B. (1987). A continuum model for calculating snow avalanche velocities. *Proceedings of Avalanche Formation, Movements and Effects, International Association of Hydrological Sciences*, 363-379.
- Norem, H., Irgens, F. and Schieldrop, B. (1989). Simulation of snow-avalanche flow in run-out zones. *Annals of Glaciology*, (13), 218-225.
- Oberndorfer, S. and Granig, M. (2007). Modellkalibrierung des Lawinensimulationsmodells SamosAT, *Austrian Service for Torrent and Avalanche Control Report*, Schwaz, Österreich, 123.
- Oremus, M. R. (2006). *A one-dimensional model of dense snow avalanches using mass and momentum balances*, Master's Thesis, The Faculty of Humboldt State University, ABD, 2.

- Perla, R. I. (1980). Avalanche release, motion, and impact, In S. C. Colbeck (Eds.), *Dynamics of Snow and Ice Masses*. San Diego, California: Academic, pp. 397–462.
- Perla, R. I., (1977). Slab avalanche measurements, *Canadian Geotechnical Journal*, 14, 206–213.
- Perla, R., Cheng, T. and McClung, D. (1980). A two-parameter model of snow-avalanche motion. *Journal of Glaciology*, 26(94), 197-207.
- Platzer, K., Bartelt, P. and Jaedicke, C. (2007). Basal shear and normal stresses of dry and wet snow avalanches after a slope deviation. *Cold regions science and technology*, 49(1), 11-25.
- Platzer, K., Bartelt, P. and Kern, M. (2007). Measurements of dense snow avalanche basal shear to normal stress ratios (S/N). *Geophysical Research Letters*, 34(7), L07501.
- Pudasaini, S. P. and Hutter, K. (2003). Rapid shear flows of dry granular masses down curved and twisted channels. *Journal of Fluid Mechanics*, 49(5), 193-208.
- Pudasaini, S. P. and Hutter, K. (2007). *Avalanche Dynamics - Dynamics of Rapid Flows of Dense Granular Avalanches*. Heidelberg, Germany: Springer, 28,47,76,77,78,79,81,102,103,115,116,117.
- Rammer, L., Kern, M., Gruber, U. and Tiefenbacher, F. (2007). Comparison of avalanche-velocity measurements by means of pulsed Doppler radar, continuous wave radar and optical methods. *Cold Regions Science and Technology*, 50(1), 35-54.
- Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. and Mears, A.I. (2015). *The Technical Avalanche Protection Handbook*. Berlin, Germany: Wilhelm Ernst & Sohn, 12.
- Sailer, R., Fellin, W., Fromm, R., Jörg, P., Rammer, L., Sampl, P. and Schaffhauser, A. (2008). Snow avalanche mass-balance calculation and simulation-model verification. *Annals of Glaciology*, 48(1), 183-192.
- Salm, B. (1982). Mechanical properties of snow. *Reviews of Geophysics*, 20(1), 1-19.
- Salm, B. (1993). Flow, flow transition and run-out distances of flowing avalanches, *Annals of Glaciology*, 18, 221–226.
- Salm, B. and Gubler, H. U. (1992). Calcul des avalanches: une method didactique pour le calcul pratique, *Cemagref – Nivologie Report*, France, 13-18.
- Salm, B., Burkhard, A., & Gubler, H. (1990). Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Eidgenössische Institut für Schnee und Lawinenforschung.
- Sampl, P. (2007). SamosAT–Modelltheorie und Numerik. AVL List GmbH, Graz, Avusturya.

- Sauermoser, S., Granig, M., Kleemayr, K., and Margreth, S. (2015). Avalanche Dynamics: Models and Impact, In Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. and Mears, A. I. (Eds.), *The Technical Avalanche Protection Handbook*. Berlin, Germany, p. 55.
- Schaer, M. (1995). Avalanche activity during major avalanche events - a case study for hydroelectric reservoirs. *Les Apports de la Recherche Scientifique à la Sécurité Neige, Glace et Avalanche*, 30, 133-138.
- Schaerer, P. A. (1975). Friction coefficients and speed of flowing avalanches, *International Association of Hydrological Sciences*, 114, 425-432.
- Schneebeli, M. and Meyer-Grass, M. (1993). Avalanche starting zones below the timber line— structure of forest, *Proceedings book of the International Snow Science Workshop*. Breckenridge, Colorado, U.S.A, pp. 176 - 181.
- Schweizer, J. (1993). The influence of the layered character of the snow cover on the triggering of slab avalanches, *Annals of Glaciology*, 18, 193–198.
- Schweizer, J., Jamieson, J. B. and Skjonsberg, D. (1998). Avalanche forecasting for transportation corridor and backcountry in Glacier National Park (BC, Canada). In E. Hestnes (Eds.), *25 Years of Snow Avalanche Research*. Voss, Norway, pp. 238–243.
- Schweizer, J., Jamieson, J. B., Schneebeli, M. (2003). Snow avalanche formation. *Reviews of Geophysics*, 41(4), 2-1 - 2-25.
- Schweizer, J., and Jamieson, J. B. (2001). Snow cover properties for skier triggering of avalanches, *Cold Regions Science and Technology*, 33, 207–221.
- Sinickas, A. and Jamieson, B. (2014). Comparing methods for estimating  $\beta$  points for use in statistical snow avalanche run-out models. *Cold Regions Science and Technology*, 104-105, 23-32.
- Sovilla, B., Schaer, M. and Rammer, L. (2008). Measurements and analysis of full-scale avalanche impact pressure at the Vallée de la Sionne test site. *Cold Regions Science and Technology*, 51(2), 122-137.
- Stoffel, A., Meister, R., and Schweizer, J. (1998). Spatial characteristics of avalanche activity in an Alpine valley – a GIS approach. *Annals of Glaciology*, 26, 329-336.
- Sturm, M., Holmgren, J., König, M. and Morris, K. (1997). The thermal conductivity of seasonal snow, *Journal of Glaciology*, 43(143), 26–41.
- Tiefenbacher, F. and Kern, M. (2004). Experimental devices to determine snow avalanche basal friction and velocity profiles. *Cold regions science and technology*, 38(1), 17-30.
- Turnbull, B. and McElwaine, J. (2007). A comparison of powder-snow avalanches at Vallée de la Sionne, Switzerland, with plume theories. *Journal of Glaciology*, 53(180), 30-40.

- 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, 3-7.
- Vallet, J., Turnbull, B., Joly, S. and Dufour, F. (2004). Observations on powder snow avalanches using video-grammetry. *Cold Regions Science and Technology*, 39, 153-159.
- Voellmy, A. (1955). Über die Zerstörungskraft von Lawinen. *Schweizerische Bauzeitung*, 73, 159-165, 212-217, 246-249, 280-285.
- Volk, G. (2005). *Handbuch ELBA+*, NIT Technisches Büro GmbH, Pressbaum, 15 -25.
- Volk, G. and Kleemayr, K. (1999). Lawinensimulationsmodell ELBA. *Journal for Torrent, Avalanche and Erosion Control*, 23-32.
- WSL. (1990). *Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet*. Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 11- 43.
- WSL. (1999). *Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung. Kursunterlagen zur Einführung des Programms AVAL-1D*. Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 17- 38.
- WSL. (2013). *RAMMS User Manual v1.5 Avalanche*. Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 22,23,37,40,55,56,57,63,64,69,90.

**EKLER**

EK-1. RAMMS programı tarafından kullanılan  $\mu - \xi$  çizelgesi

| Large avalanche (Çığ Hacmi > 60 000 m <sup>3</sup> )                        |                                  | Return Period (Tekerrür Periyodu -Yıl) |                           |          |                           |         |                           |         |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|----------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
|                                                                             |                                  | 300-Year                               |                           | 100-Year |                           | 30-Year |                           | 10-Year |                           |
| Güzergah Tipi                                                               | Altitude (m.a.s.l.)<br>Rakım (m) | $\mu$                                  | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$    | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| Unchannelled<br>(Kanallaşmamış)                                             | above 1500                       | 0,155                                  | 3000                      | 0,165    | 3000                      | 0,170   | 3000                      | 0,180   | 3000                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,170                                  | 2500                      | 0,180    | 2500                      | 0,190   | 2500                      | 0,200   | 2500                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,190                                  | 2000                      | 0,200    | 2000                      | 0,210   | 2000                      | 0,220   | 2000                      |
| Channelled<br>(Kanallaşmış)                                                 | above 1500                       | 0,210                                  | 2000                      | 0,220    | 2000                      | 0,225   | 2000                      | 0,235   | 2000                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,220                                  | 1750                      | 0,230    | 1750                      | 0,240   | 1750                      | 0,250   | 1750                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,240                                  | 1500                      | 0,250    | 1500                      | 0,260   | 1500                      | 0,270   | 1500                      |
| Gully<br>(V kesitli vadi)                                                   | above 1500                       | 0,270                                  | 1500                      | 0,280    | 1500                      | 0,290   | 1500                      | 0,300   | 1500                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,285                                  | 1350                      | 0,300    | 1350                      | 0,310   | 1350                      | 0,325   | 1350                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,300                                  | 1200                      | 0,315    | 1200                      | 0,330   | 1200                      | 0,345   | 1200                      |
| Flat (Düz)                                                                  | above 1500                       | 0,140                                  | 4000                      | 0,150    | 4000                      | 0,155   | 4000                      | 0,160   | 4000                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,150                                  | 3500                      | 0,160    | 3500                      | 0,170   | 3500                      | 0,180   | 3500                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,170                                  | 3000                      | 0,180    | 3000                      | 0,190   | 3000                      | 0,200   | 3000                      |
| Medium avalanche (Çığ Hacmi 25 000 m <sup>3</sup> - 60 000 m <sup>3</sup> ) |                                  | Return Period (Tekerrür Periyodu -Yıl) |                           |          |                           |         |                           |         |                           |
|                                                                             |                                  | 300-Year                               |                           | 100-Year |                           | 30-Year |                           | 10-Year |                           |
| Güzergah Tipi                                                               | Altitude (m.a.s.l.)<br>Rakım (m) | $\mu$                                  | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$    | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| Unchannelled<br>(Kanallaşmamış)                                             | above 1500                       | 0,195                                  | 2500                      | 0,205    | 2500                      | 0,215   | 2500                      | 0,225   | 2500                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,210                                  | 2100                      | 0,220    | 2100                      | 0,230   | 2100                      | 0,240   | 2100                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,230                                  | 1750                      | 0,240    | 1750                      | 0,250   | 1750                      | 0,260   | 1750                      |
| Channelled<br>(Kanallaşmış)                                                 | above 1500                       | 0,250                                  | 1750                      | 0,260    | 1750                      | 0,270   | 1750                      | 0,280   | 1750                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,270                                  | 1530                      | 0,280    | 1530                      | 0,285   | 1530                      | 0,295   | 1530                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,280                                  | 1350                      | 0,290    | 1350                      | 0,300   | 1350                      | 0,310   | 1350                      |
| Gully<br>(V kesitli vadi)                                                   | above 1500                       | 0,320                                  | 1350                      | 0,330    | 1350                      | 0,340   | 1350                      | 0,350   | 1350                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,330                                  | 1200                      | 0,340    | 1200                      | 0,355   | 1200                      | 0,360   | 1200                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,360                                  | 1100                      | 0,370    | 1100                      | 0,380   | 1100                      | 0,390   | 1100                      |
| Flat (Düz)                                                                  | above 1500                       | 0,170                                  | 3250                      | 0,180    | 3250                      | 0,190   | 3250                      | 0,200   | 3250                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,190                                  | 2900                      | 0,200    | 2900                      | 0,210   | 2900                      | 0,220   | 2900                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,210                                  | 2500                      | 0,220    | 2500                      | 0,230   | 2500                      | 0,240   | 2500                      |
| Small avalanche (Çığ Hacmi 5 000 m <sup>3</sup> - 25 000 m <sup>3</sup> )   |                                  | Return Period (Tekerrür Periyodu -Yıl) |                           |          |                           |         |                           |         |                           |
|                                                                             |                                  | 300-Year                               |                           | 100-Year |                           | 30-Year |                           | 10-Year |                           |
| Güzergah Tipi                                                               | Altitude (m.a.s.l.)<br>Rakım (m) | $\mu$                                  | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$    | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| Unchannelled<br>(Kanallaşmamış)                                             | above 1500                       | 0,235                                  | 2000                      | 0,245    | 2000                      | 0,250   | 2000                      | 0,260   | 2000                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,250                                  | 1750                      | 0,260    | 1750                      | 0,265   | 1750                      | 0,275   | 1750                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,265                                  | 1500                      | 0,275    | 1500                      | 0,285   | 1500                      | 0,295   | 1500                      |
| Channelled<br>(Kanallaşmış)                                                 | above 1500                       | 0,280                                  | 1500                      | 0,290    | 1500                      | 0,300   | 1500                      | 0,310   | 1500                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,300                                  | 1350                      | 0,310    | 1350                      | 0,315   | 1350                      | 0,325   | 1350                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,310                                  | 1200                      | 0,320    | 1200                      | 0,330   | 1200                      | 0,340   | 1200                      |
| Gully<br>(V kesitli vadi)                                                   | above 1500                       | 0,370                                  | 1200                      | 0,380    | 1200                      | 0,390   | 1200                      | 0,400   | 1200                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,380                                  | 1100                      | 0,390    | 1100                      | 0,400   | 1100                      | 0,410   | 1100                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,400                                  | 1000                      | 0,410    | 1000                      | 0,420   | 1000                      | 0,430   | 1000                      |
| Flat (Düz)                                                                  | above 1500                       | 0,215                                  | 2500                      | 0,225    | 2500                      | 0,230   | 2500                      | 0,240   | 2500                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,230                                  | 2250                      | 0,240    | 2250                      | 0,245   | 2250                      | 0,255   | 2250                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,245                                  | 2000                      | 0,255    | 2000                      | 0,260   | 2000                      | 0,270   | 2000                      |
| Tiny avalanche (Çığ Hacmi < 5 000 m <sup>3</sup> )                          |                                  | Return Period (Tekerrür Periyodu -Yıl) |                           |          |                           |         |                           |         |                           |
|                                                                             |                                  | 300-Year                               |                           | 100-Year |                           | 30-Year |                           | 10-Year |                           |
| Güzergah Tipi                                                               | Altitude (m.a.s.l.)<br>Rakım (m) | $\mu$                                  | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$    | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) | $\mu$   | $\xi$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| Unchannelled<br>(Kanallaşmamış)                                             | above 1500                       | 0,275                                  | 1500                      | 0,280    | 1500                      | 0,285   | 1500                      | 0,290   | 1500                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,290                                  | 1400                      | 0,295    | 1400                      | 0,300   | 1400                      | 0,305   | 1400                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,300                                  | 1250                      | 0,310    | 1250                      | 0,320   | 1250                      | 0,330   | 1250                      |
| Channelled<br>(Kanallaşmış)                                                 | above 1500                       | 0,310                                  | 1250                      | 0,320    | 1250                      | 0,330   | 1250                      | 0,340   | 1250                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,330                                  | 1180                      | 0,340    | 1180                      | 0,345   | 1180                      | 0,355   | 1180                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,340                                  | 1050                      | 0,350    | 1050                      | 0,360   | 1050                      | 0,370   | 1050                      |
| Gully<br>(V kesitli vadi)                                                   | above 1500                       | 0,420                                  | 1050                      | 0,430    | 1050                      | 0,440   | 1050                      | 0,450   | 1050                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,430                                  | 1000                      | 0,440    | 1000                      | 0,450   | 1000                      | 0,460   | 1000                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,440                                  | 900                       | 0,450    | 900                       | 0,460   | 900                       | 0,470   | 900                       |
| Flat (Düz)                                                                  | above 1500                       | 0,260                                  | 1750                      | 0,265    | 1750                      | 0,270   | 1750                      | 0,275   | 1750                      |
|                                                                             | 1000 - 1500                      | 0,270                                  | 1600                      | 0,275    | 1600                      | 0,280   | 1600                      | 0,285   | 1600                      |
|                                                                             | below 1000                       | 0,280                                  | 1500                      | 0,285    | 1500                      | 0,290   | 1500                      | 0,295   | 1500                      |
| Forested Area ( $\mu=\text{delta}$ , $\xi=\text{fix}$ )<br>(Ormanlık Alan)  |                                  | 0,020                                  | 400                       | 0,020    | 400                       | 0,020   | 400                       | 0,020   | 400                       |

## EK-2. DSİ Genel Müdürlüğü'ne ait E05K001 numaralı KGİ verileri

## DSİ

## 05 - GEDİZ HAVZASI

## E05K001 / BOZDAĞ

**YERİ :** (28° 06' 40" D - 38° 20' 05" K) (İzmir - L20)  
Ödemiş-Salihli karayoluyla Bozdağ beldesine gidilir. Bozdağ beldesinden Bozdağ Kayak Tesislerine ulaşılır. KGİ otelin 150 m. kuzeybatısındadır.

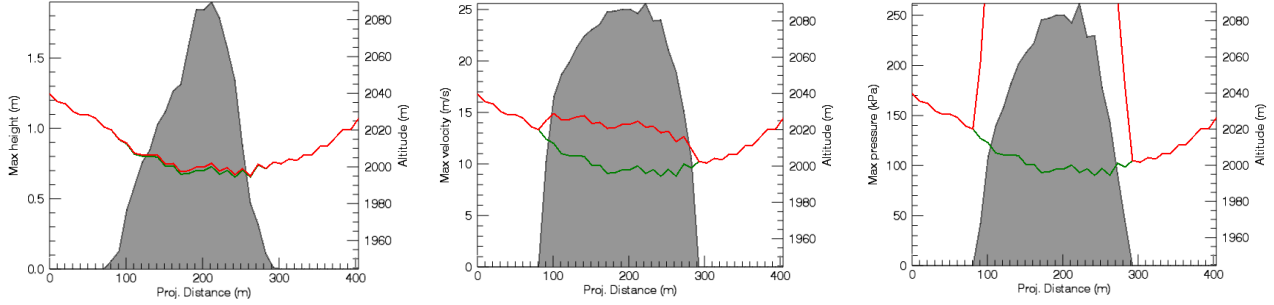
**YÜKSELTİSİ:** 1519 m.

## K A R Ö L Ç Ü M B İ L G İ L E R İ

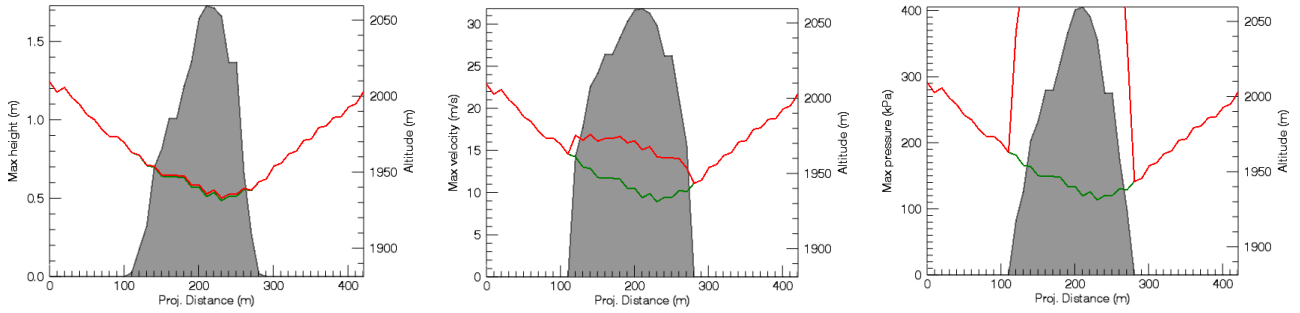
| ÖLÇÜ NO | ÖLÇÜM TARİHİ | ORTALAMA KAR DERİNLİĞİ ( cm ) | ORTALAMA KAR SU EŞDEĞERİ ( cm ) | KAR YOĞUNLUĞU ( % ) | KAR HATTININ ASGARİ YÜKSELTİSİ ( m ) |
|---------|--------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 1       | 04.03.2005   | 70,10                         | 31,90                           | 45,50               | 1380                                 |
| 2       | 04.04.2005   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1620                                 |
| 3       | 03.01.2006   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1750                                 |
| 4       | 02.02.2006   | 41,30                         | 14,60                           | 35,33               | 1151                                 |
| 5       | 06.03.2006   | 40,90                         | 17,20                           | 42,06               | 1485                                 |
| 6       | 05.04.2006   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1540                                 |
| 7       | 12.01.2007   | 11,50                         | 2,70                            | 23,19               | 1430                                 |
| 8       | 01.02.2007   | 7,40                          | 3,50                            | 48,17               | 1190                                 |
| 9       | 07.03.2007   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1700                                 |
| 10      | 06.04.2007   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1750                                 |
| 11      | 04.01.2008   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1550                                 |
| 12      | 01.02.2008   | 23,90                         | 4,40                            | 18,46               | 875                                  |
| 13      | 05.03.2008   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1530                                 |
| 14      | 03.04.2008   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1700                                 |
| 15      | 05.01.2009   | 20,50                         | 6,30                            | 30,56               | 1430                                 |
| 16      | 05.02.2009   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1550                                 |
| 17      | 19.02.2009   | 70,00                         | 16,60                           | 23,62               | 1120                                 |
| 18      | 05.03.2009   | 76,70                         | 26,30                           | 34,35               | 1161                                 |
| 19      | 02.04.2009   | 48,20                         | 21,30                           | 44,17               | 1461                                 |
| 20      | 07.01.2010   | Kar Yok                       |                                 |                     |                                      |
| 21      | 05.02.2010   | 44,20                         | 15,80                           | 35,91               | 1317                                 |
| 22      | 04.03.2010   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1535                                 |
| 23      | 01.04.2010   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1595                                 |
| 24      | 15.12.2010   | 24,50                         | 7,10                            | 28,76               | 1003                                 |
| 25      | 07.01.2011   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1550                                 |
| 26      | 01.02.2011   | 17,60                         | 6,70                            | 37,88               | 1385                                 |
| 27      | 03.03.2011   | Kar Yok                       |                                 |                     | 1750                                 |
| 28      | 10.03.2011   | 53,20                         | 4,60                            | 8,70                | 532                                  |
| 29      | 13.01.2015   | 23,00                         | 9,20                            | 40,00               |                                      |
| 30      | 13.02.2015   | 57,00                         | 7,30                            | 12,81               |                                      |
| 31      | 28.02.2015   | 48,20                         | 16,60                           | 34,44               |                                      |
| 32      | 20.03.2015   | Kar Yok                       |                                 |                     |                                      |
| 33      | 30.03.2015   | Kar Yok                       |                                 |                     |                                      |
| 34      | 13.04.2015   | 10,00                         | 2,00                            | 20,00               |                                      |
| 35      | 08.01.2016   | Kar Yok                       |                                 |                     |                                      |
| 36      | 27.01.2016   | 32,00                         | 7,00                            | 21,88               |                                      |
| 37      | 30.01.2017   | 110,00                        | 33,00                           | 30,00               |                                      |



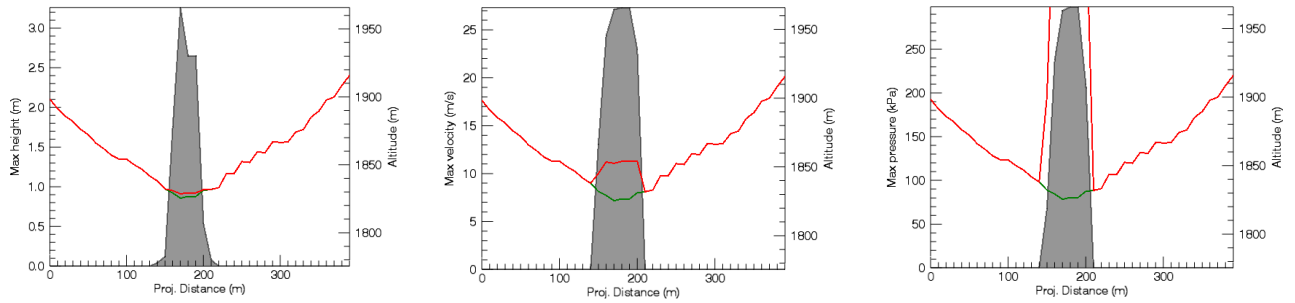
EK-3. Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



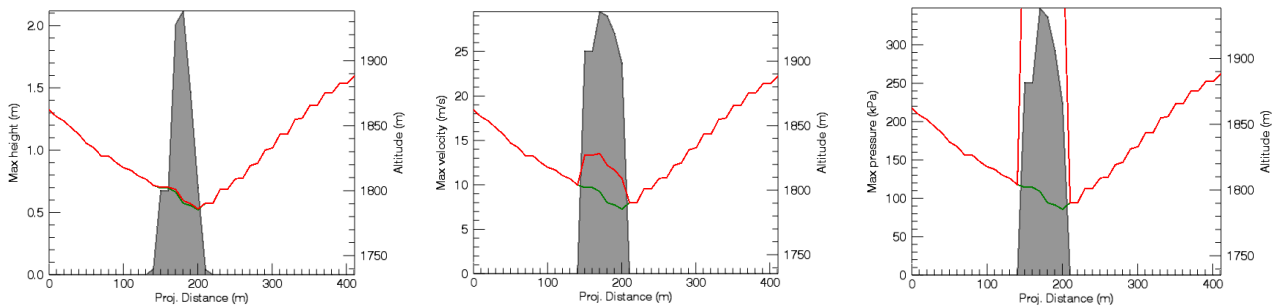
Şekil 3.1 A<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.2 A<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

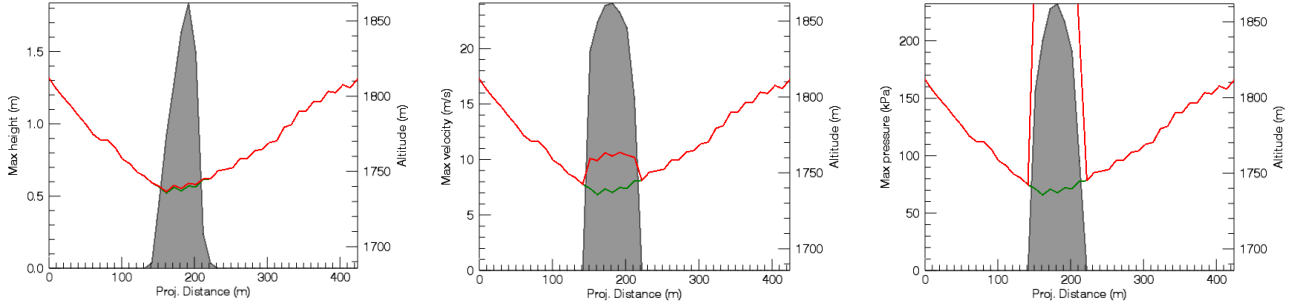


Şekil 3.3 A<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

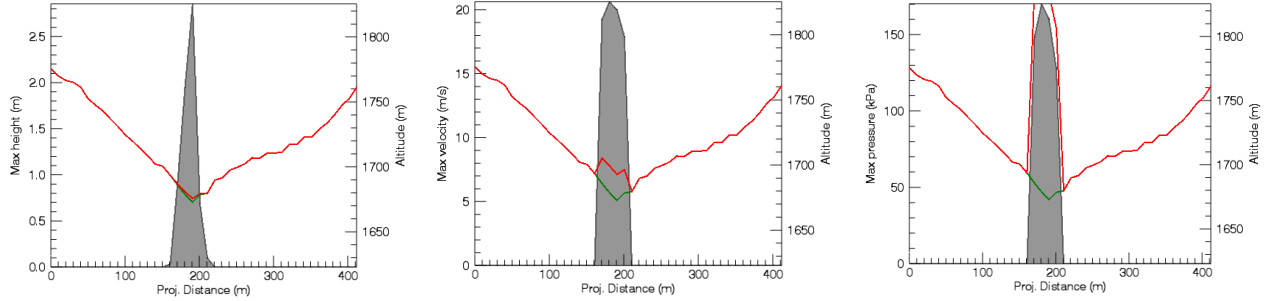


Şekil 3.4 A<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

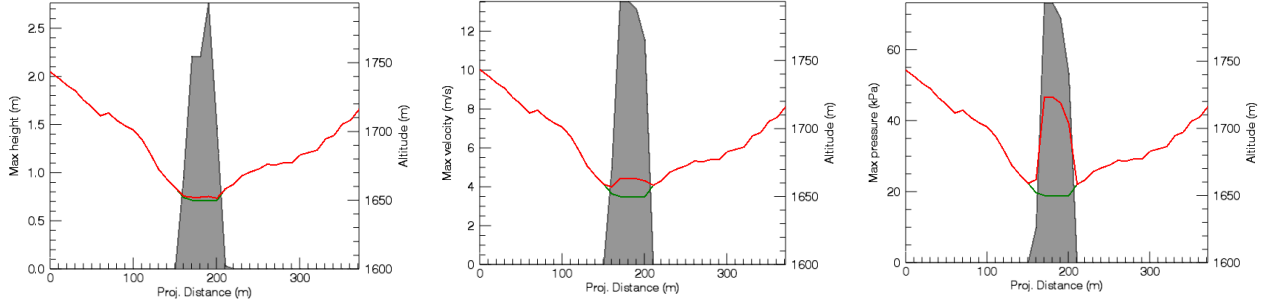
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



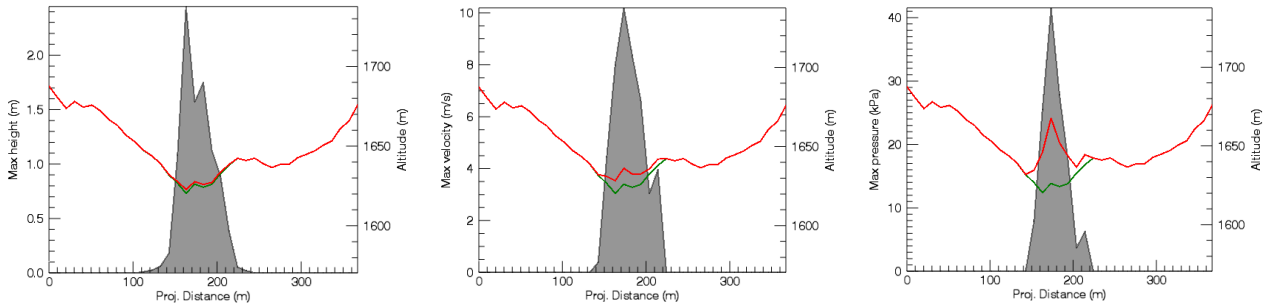
Şekil 3.5  $A_{25000}$  -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.6  $A_{25000}$  -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

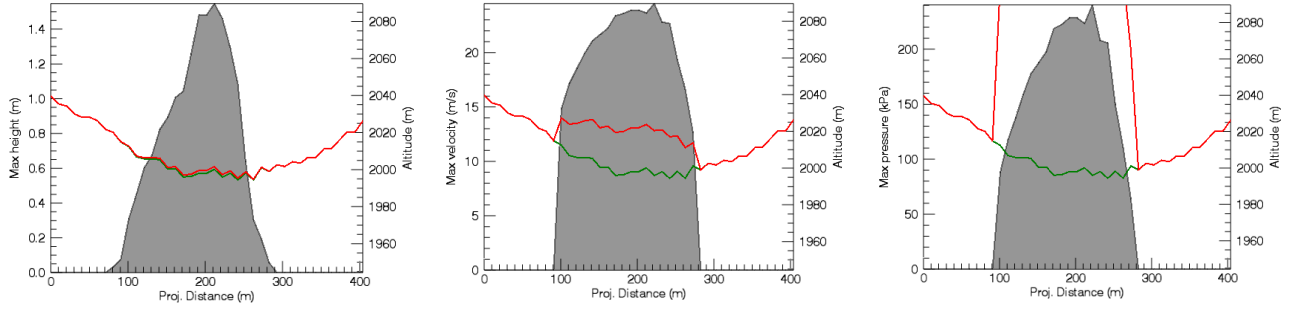


Şekil 3.7  $A_{25000}$  -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

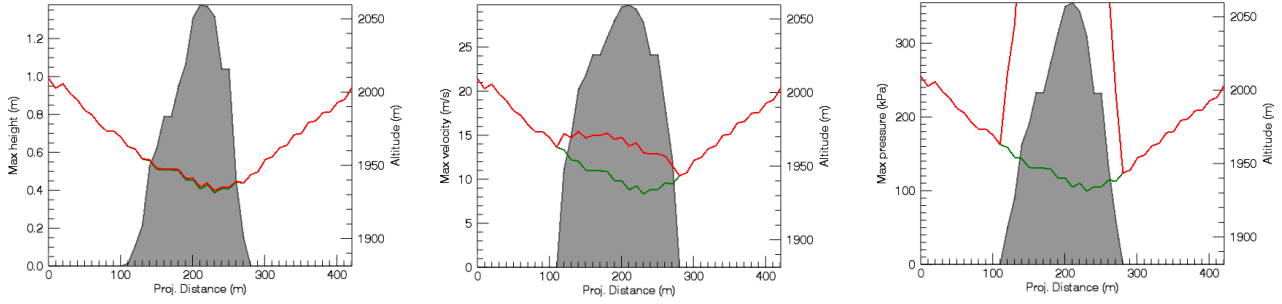


Şekil 3.8  $A_{25000}$  -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

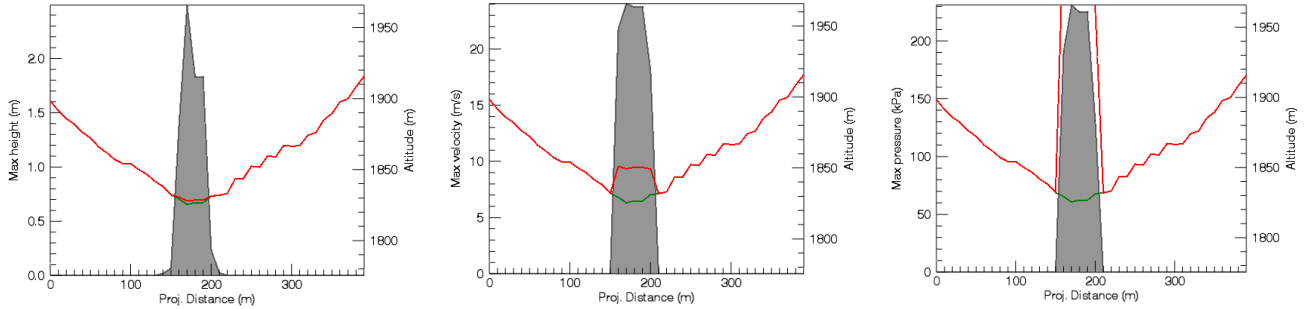
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



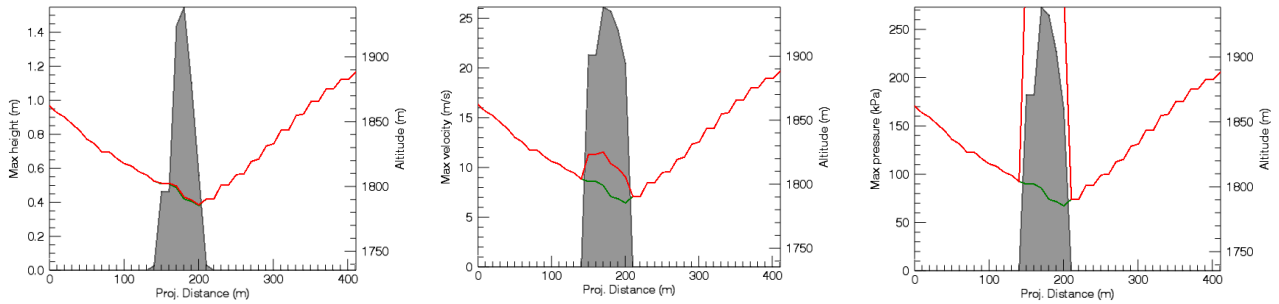
Şekil 3.9 A<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.10 A<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

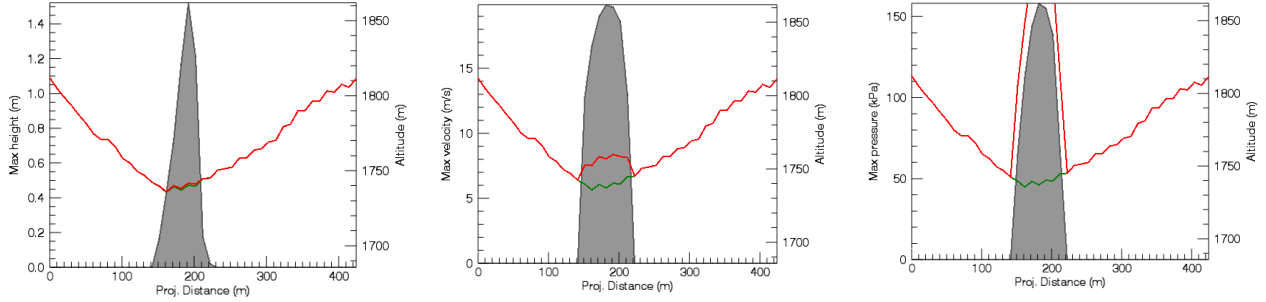


Şekil 3.11 A<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

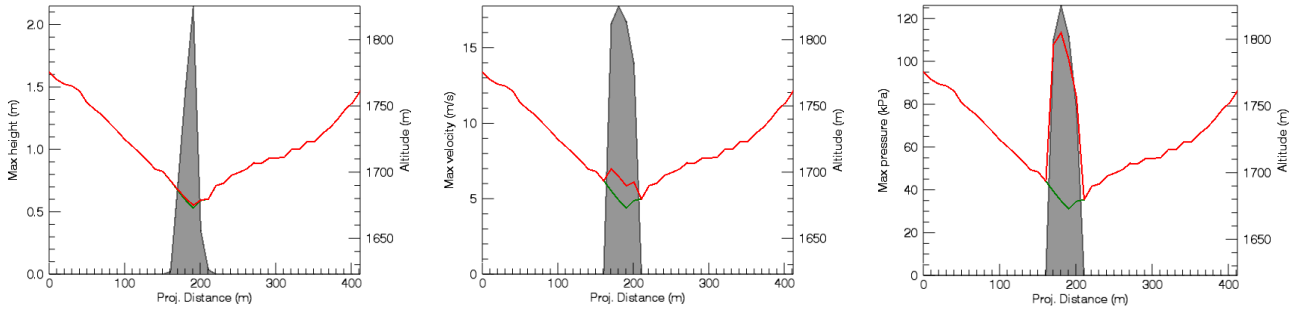


Şekil 3.12 A<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

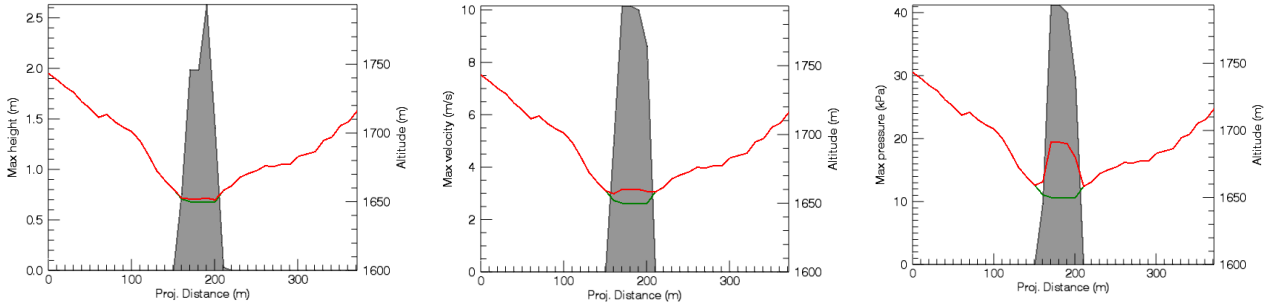
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



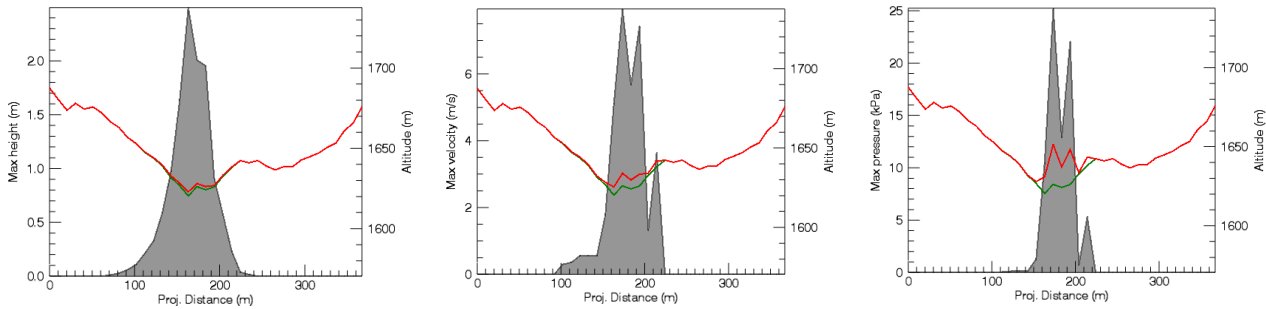
Şekil 3.13  $A_{25000}$  -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.14  $A_{25000}$  -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

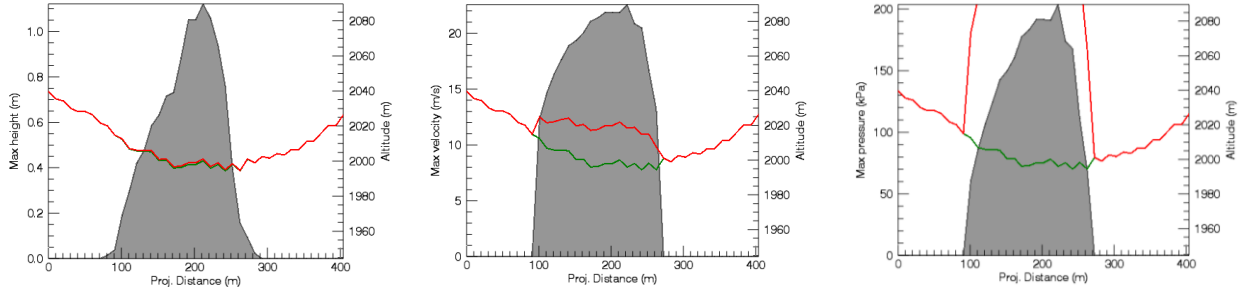


Şekil 3.15  $A_{25000}$  -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

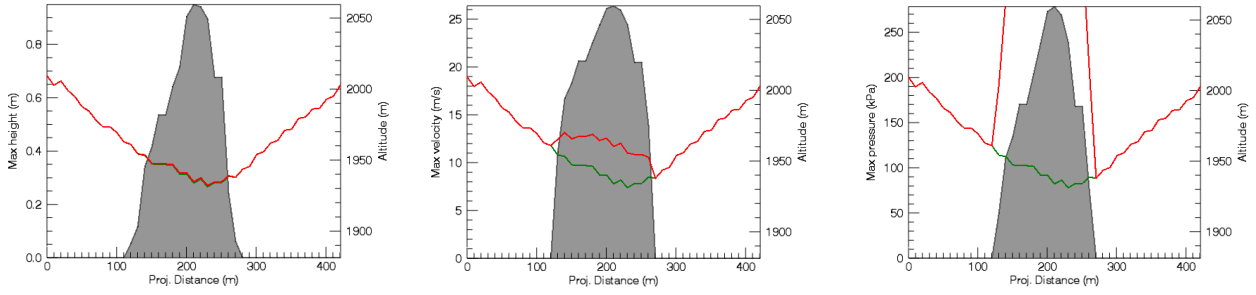


Şekil 3.16  $A_{25000}$  -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

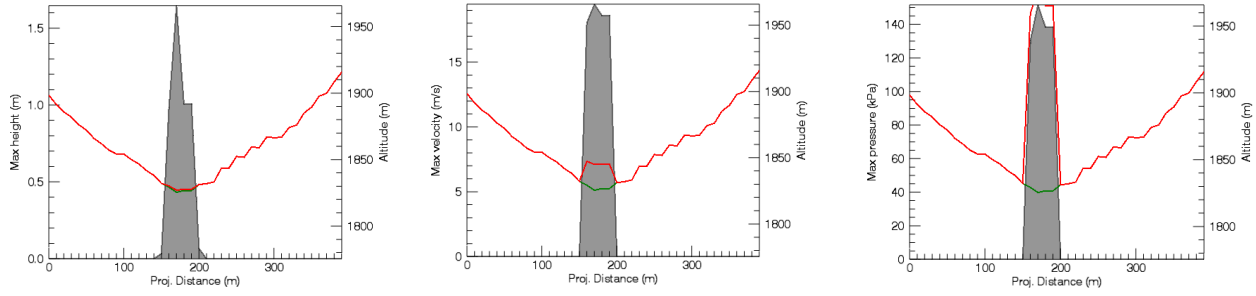
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



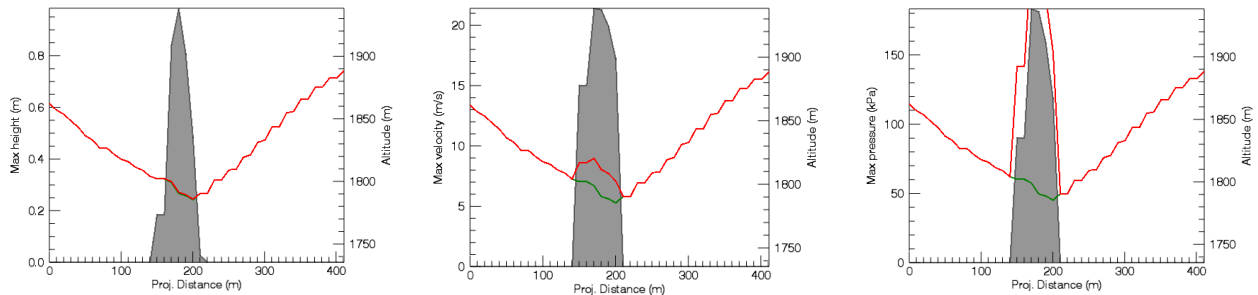
Şekil 3.17  $A_{25000} -1.5$  simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.18  $A_{25000} -1.5$  simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

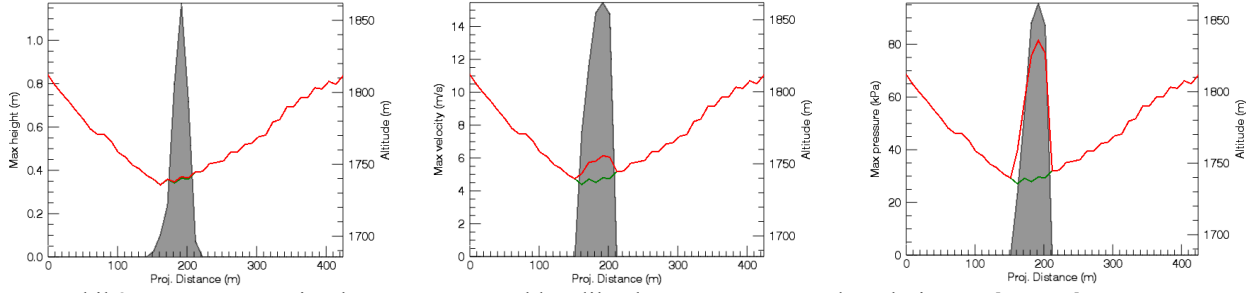


Şekil 3.19  $A_{25000} -1.5$  simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

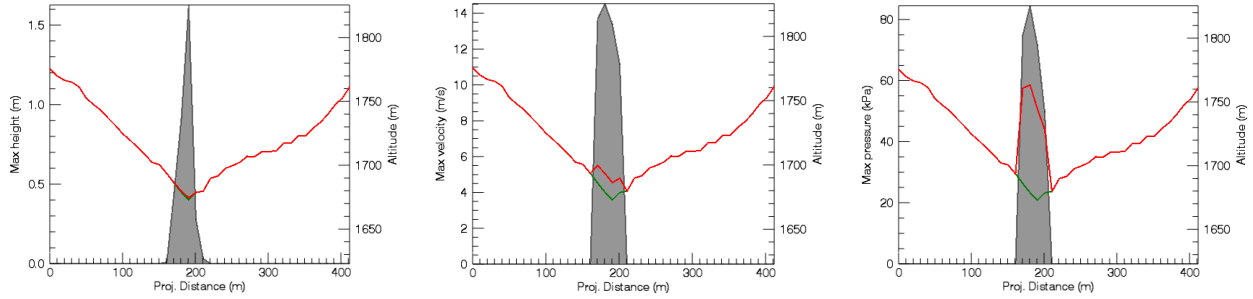


Şekil 3.20  $A_{25000} -1.5$  simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

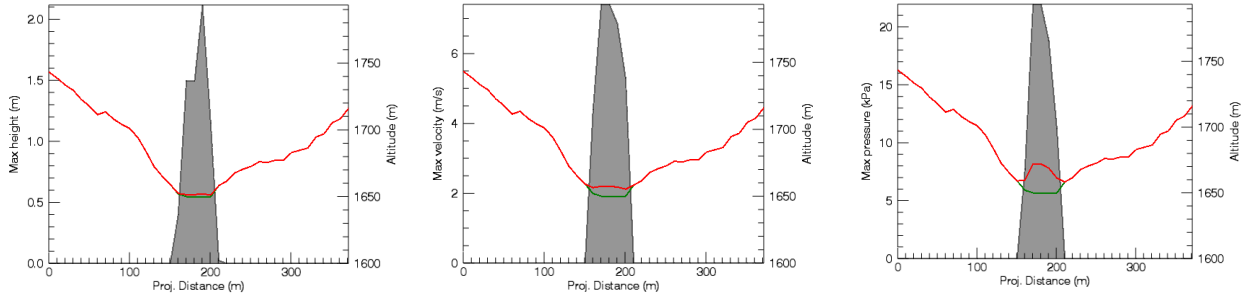
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



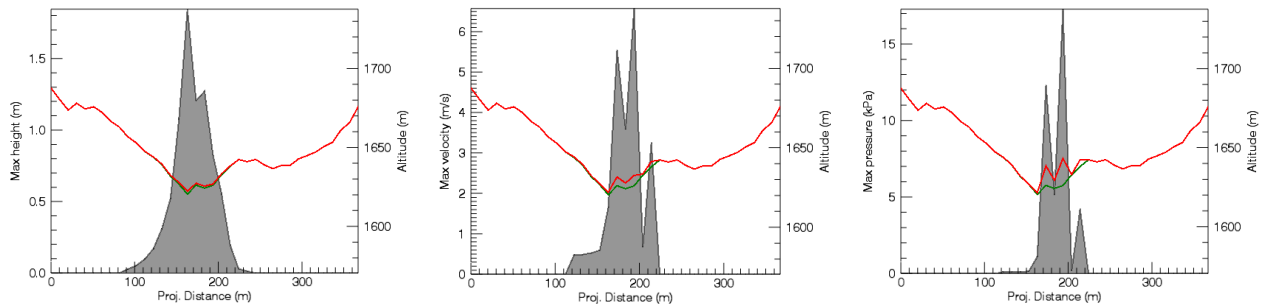
Şekil 3.21  $A_{25000}$  -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.22  $A_{25000}$  -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

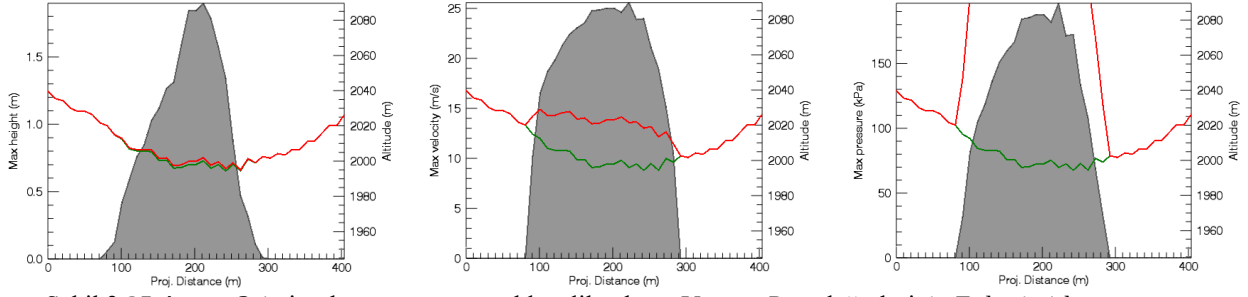


Şekil 3.23  $A_{25000}$  -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

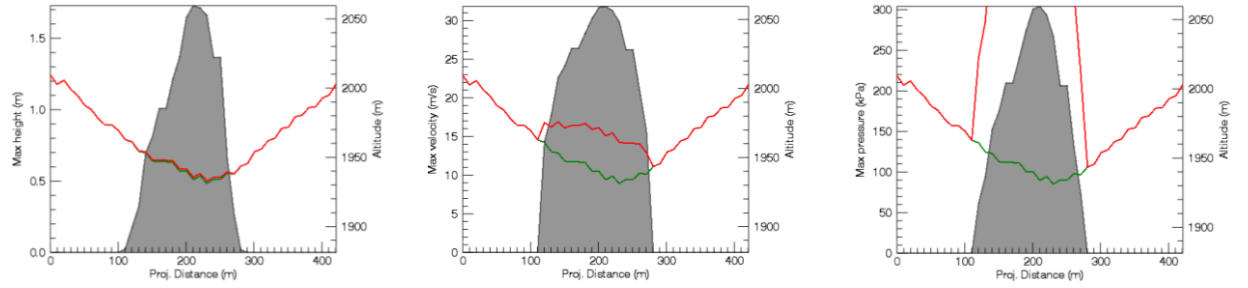


Şekil 3.24  $A_{25000}$  -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

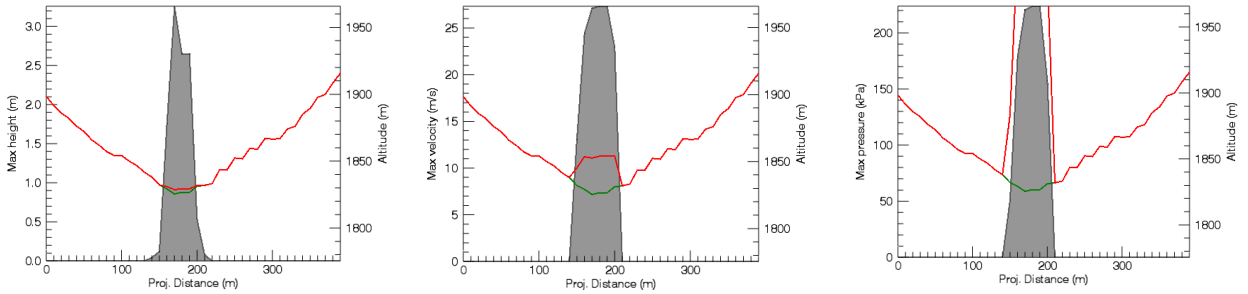
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



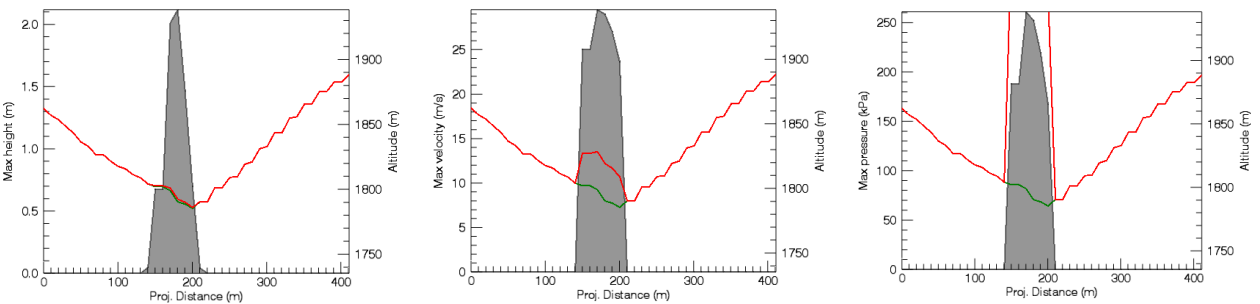
Şekil 3.25  $A_{25000}$  -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.26  $A_{25000}$  -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi



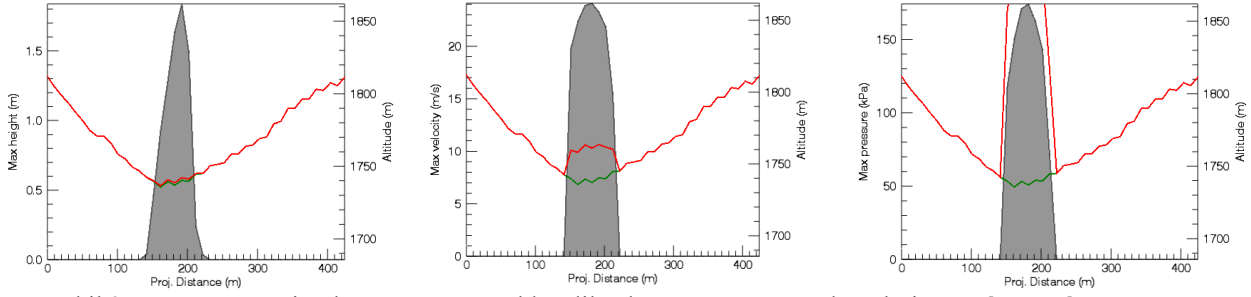
Şekil 3.27  $A_{25000}$  -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi



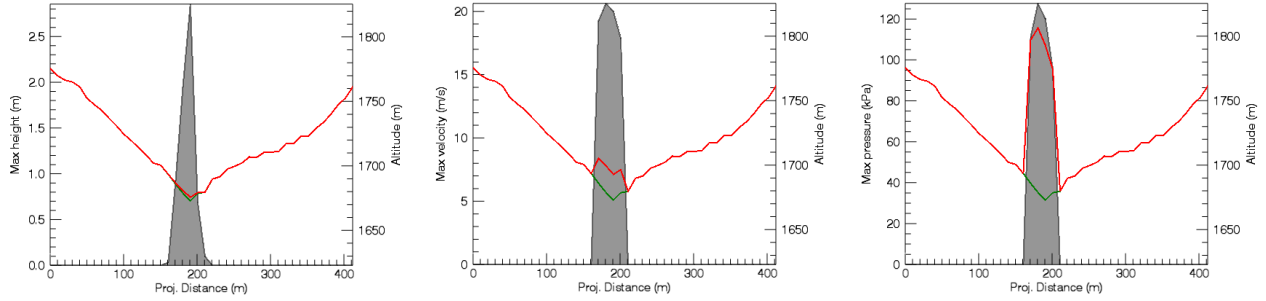
Şekil 3.28  $A_{25000}$  -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi



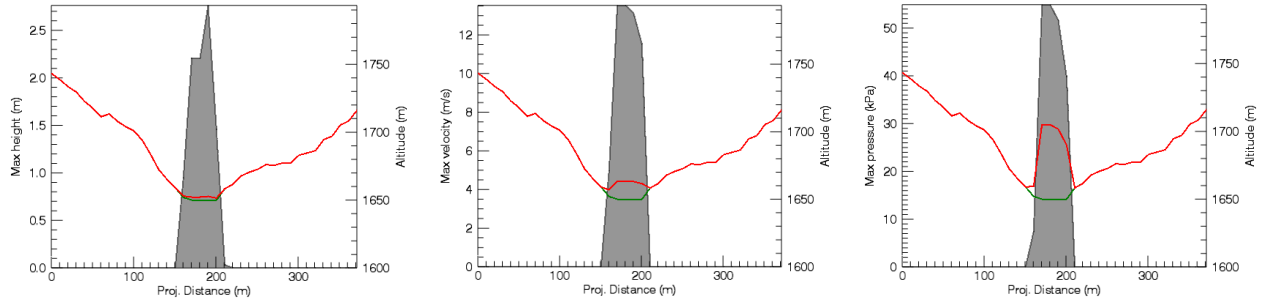
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



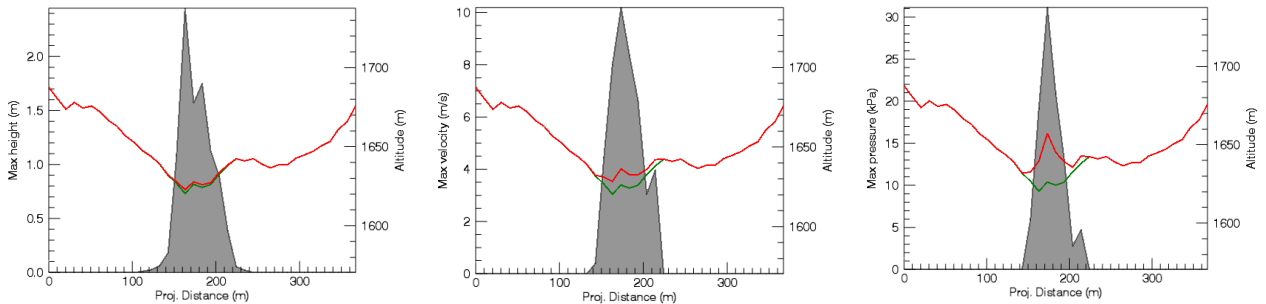
Şekil 3.29 A<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.30 A<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

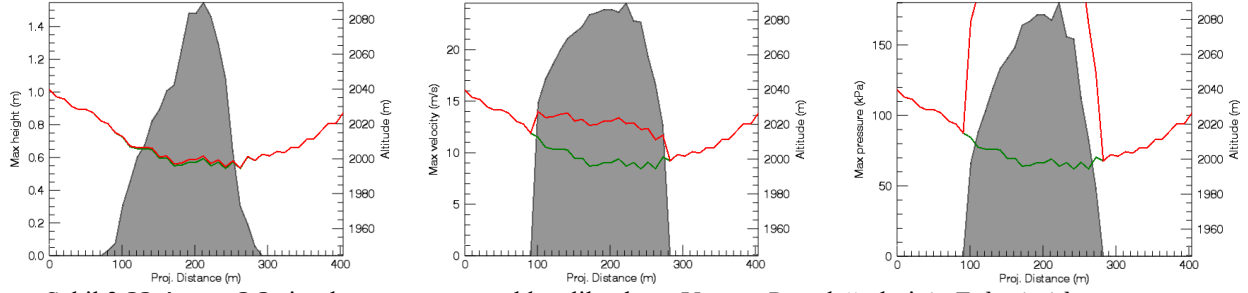


Şekil 3.31 A<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

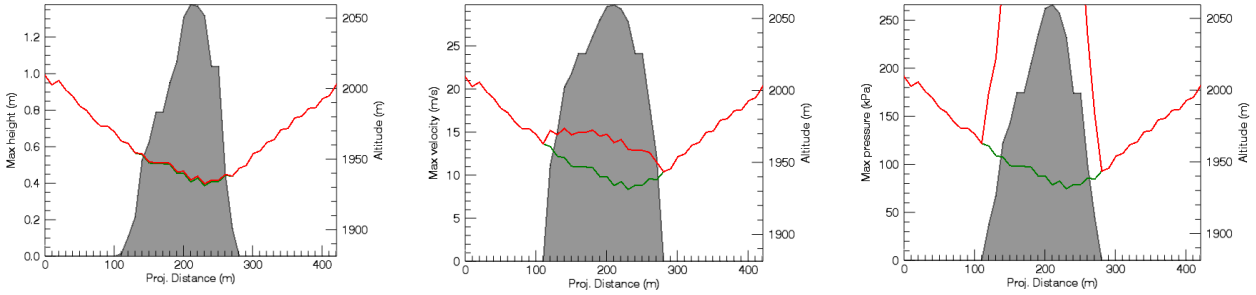


Şekil 3.32 A<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

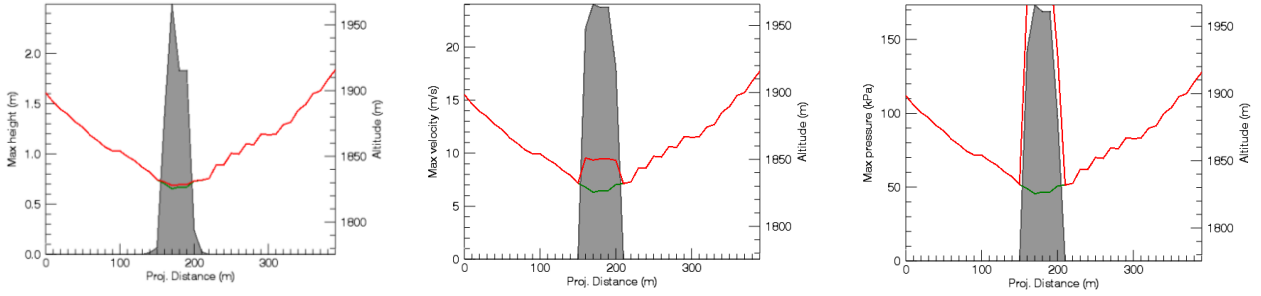
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



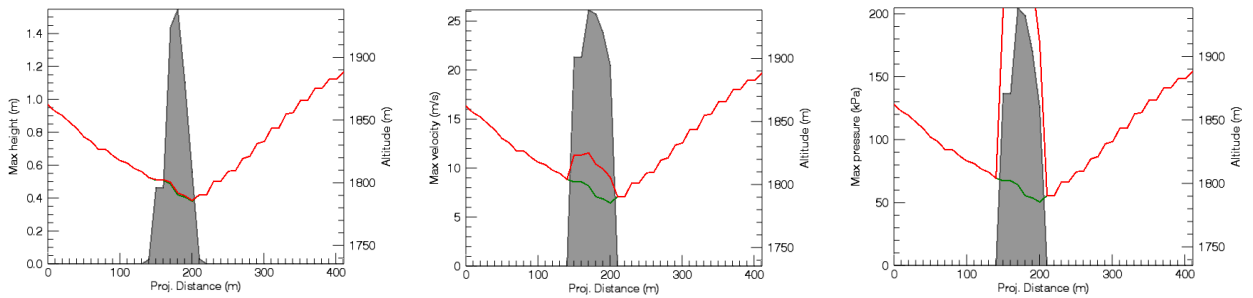
Şekil 3.33  $A_{25000}$  -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.34  $A_{25000}$  -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

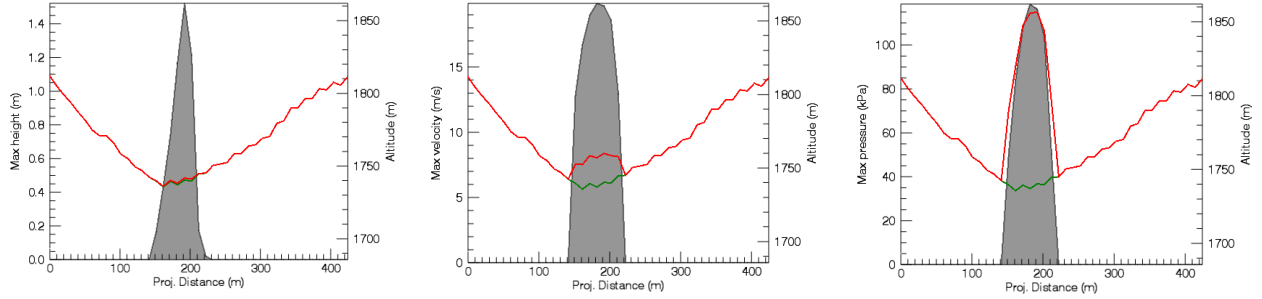


Şekil 3.35  $A_{25000}$  -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

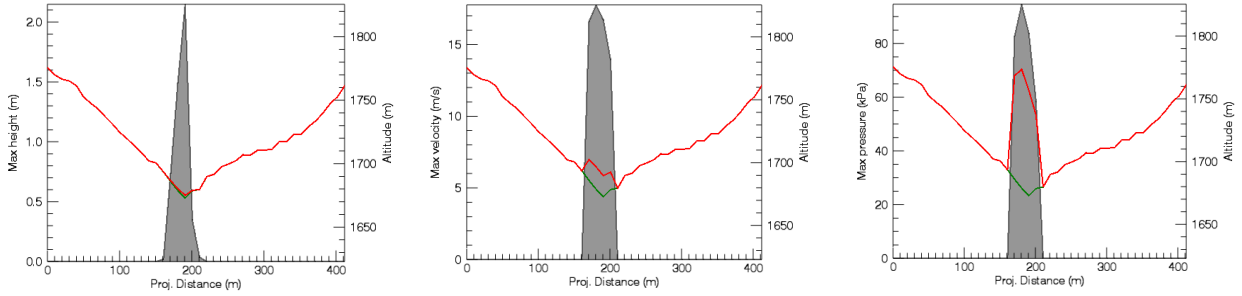


Şekil 3.36  $A_{25000}$  -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

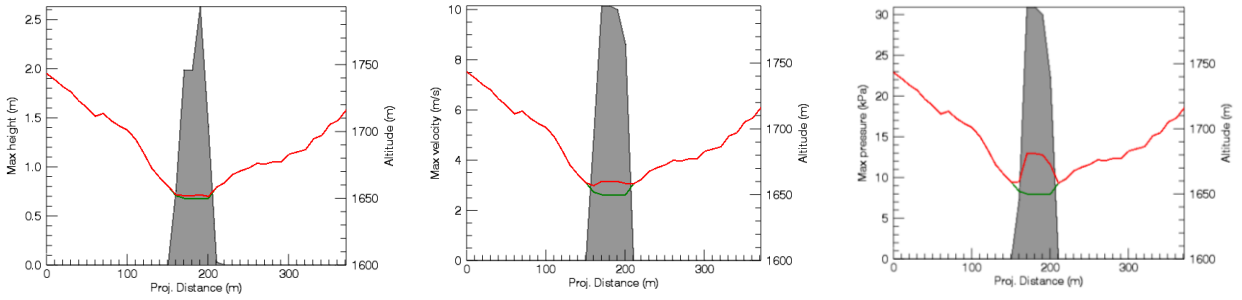
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



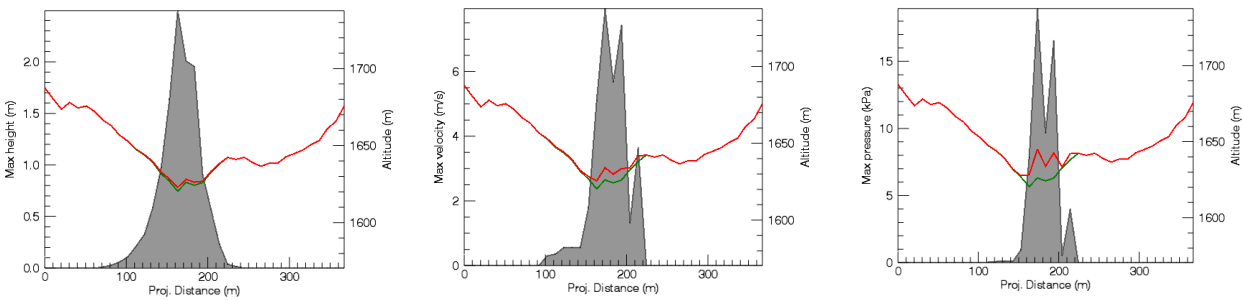
Şekil 3.37 A<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.38 A<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

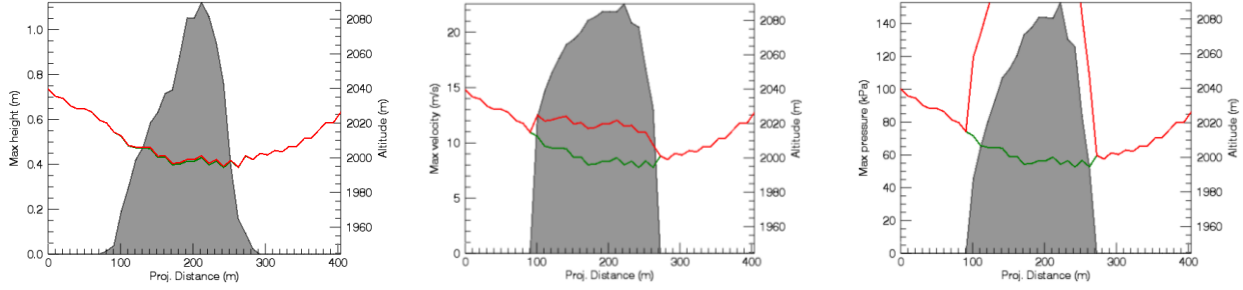


Şekil 3.39 A<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

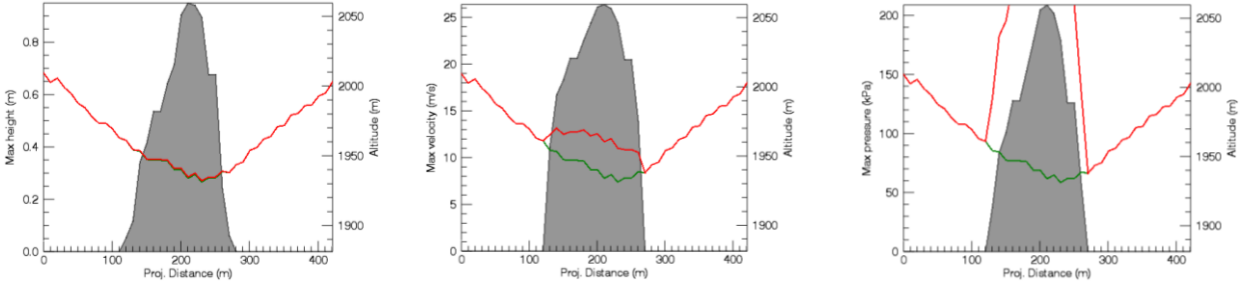


Şekil 3.40 A<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

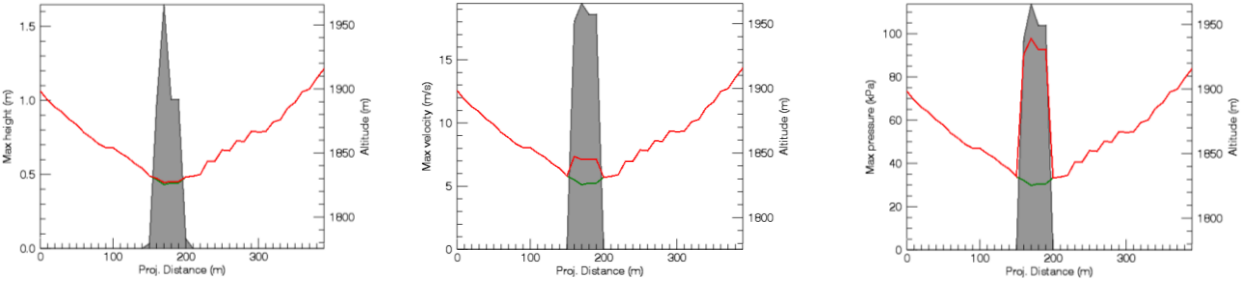
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



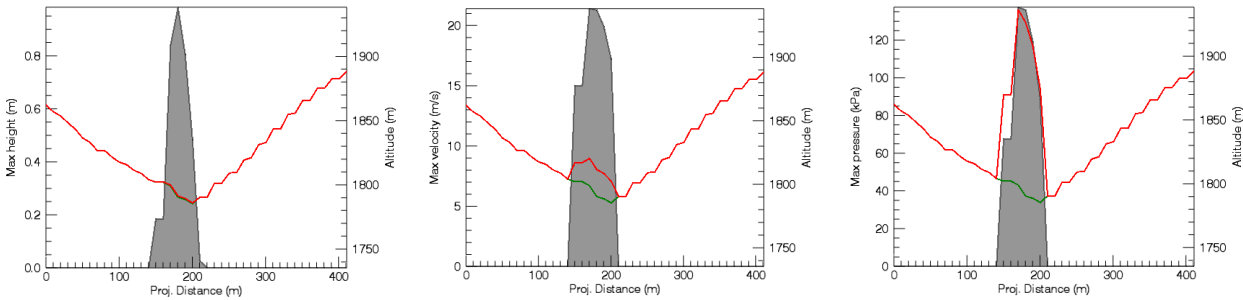
Şekil 3.41  $A_{25000}$  -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.42  $A_{25000}$  -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

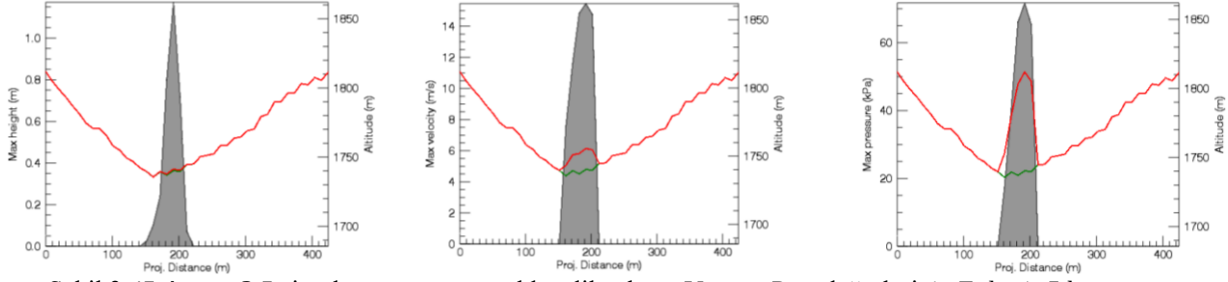


Şekil 3.43  $A_{25000}$  -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

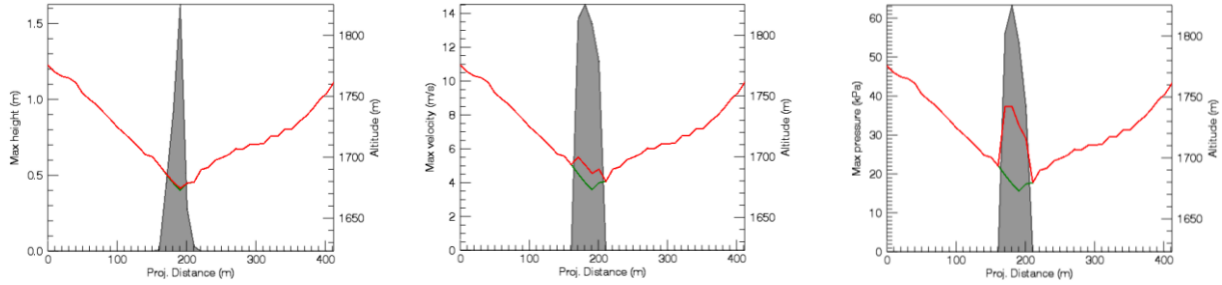


Şekil 3.44  $A_{25000}$  -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

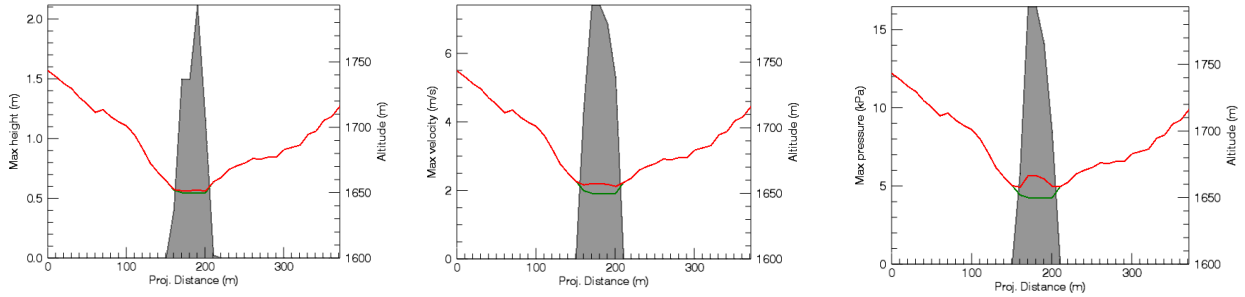
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



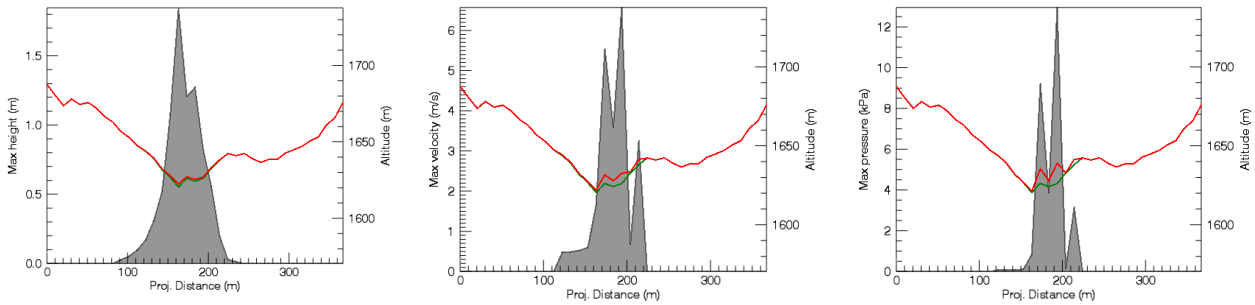
Şekil 3.45 A<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.46 A<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

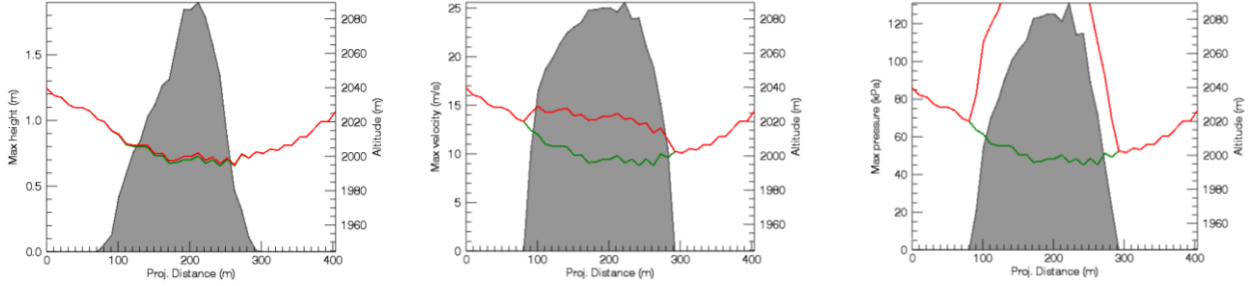


Şekil 3.47 A<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

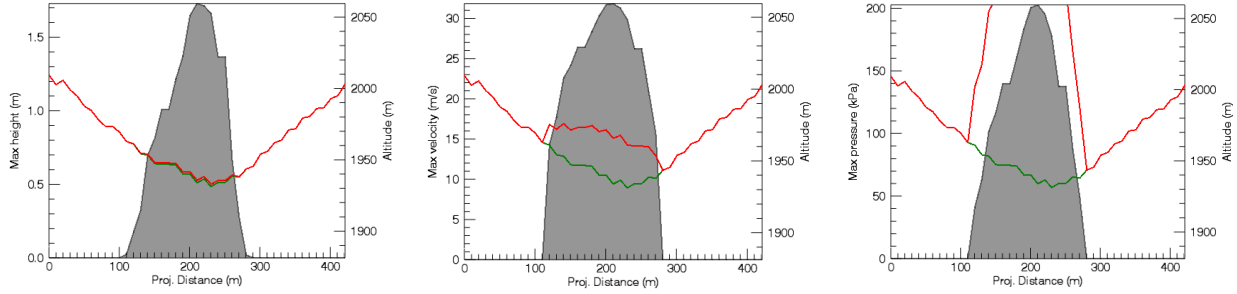


Şekil 3.48 A<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

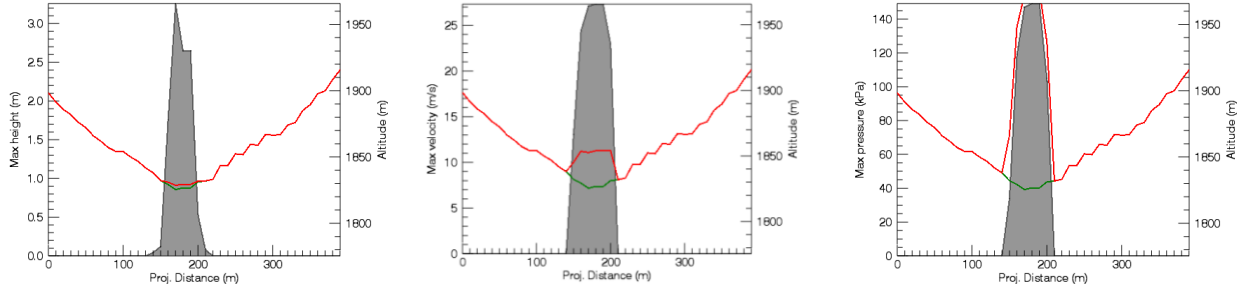
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



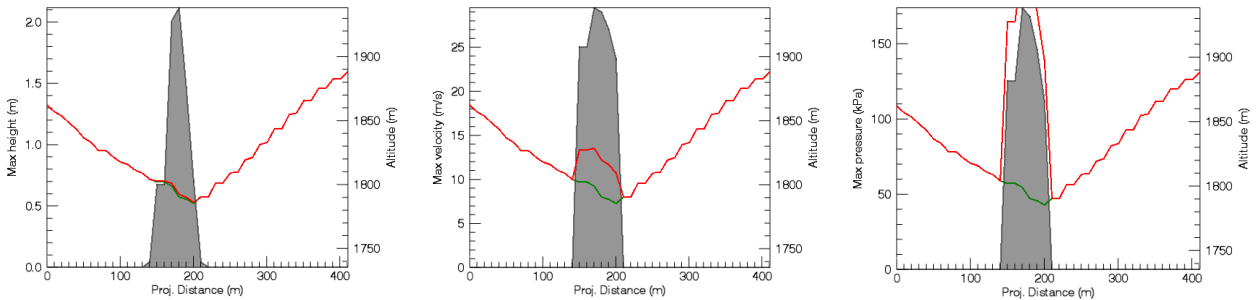
Şekil 3.49  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.50  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

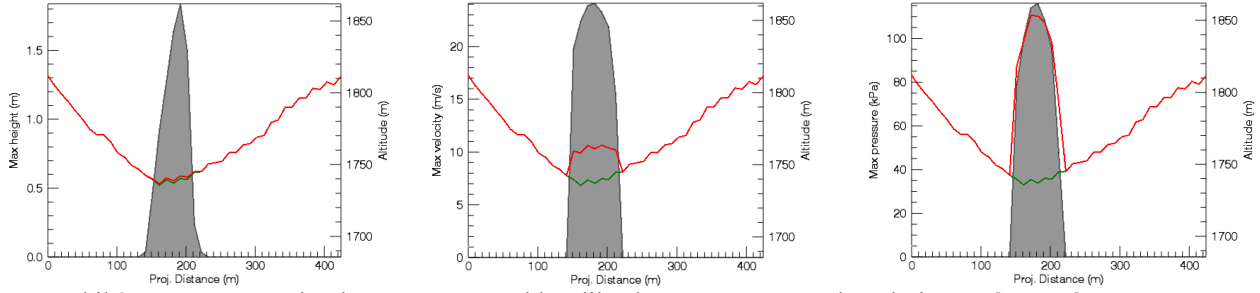


Şekil 3.51  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

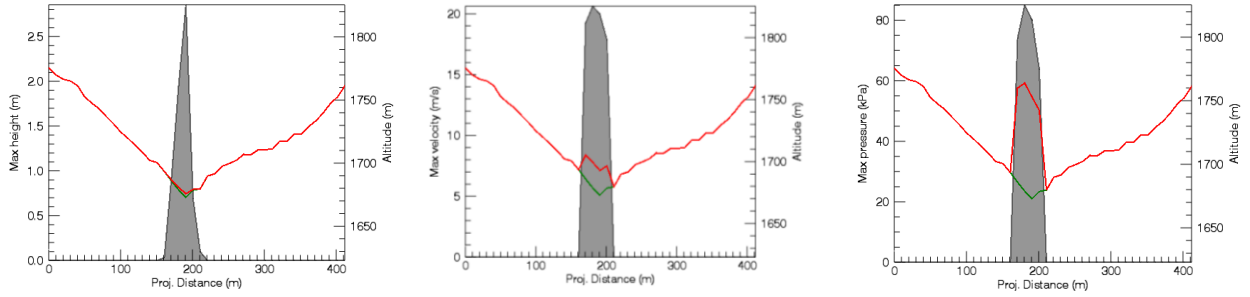


Şekil 3.52  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

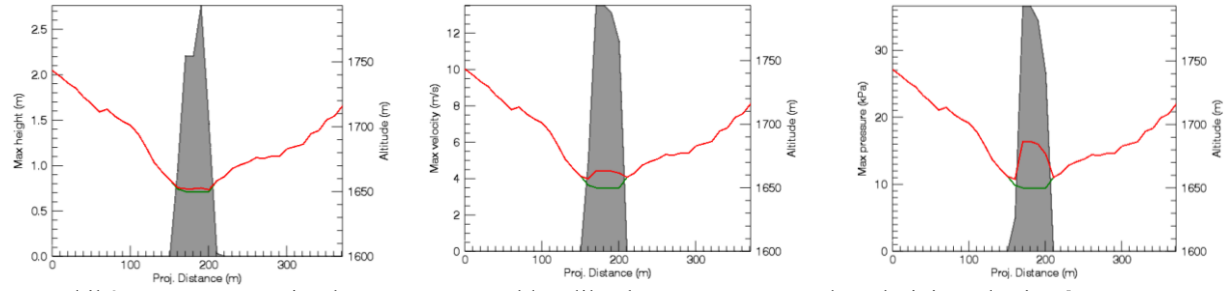
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



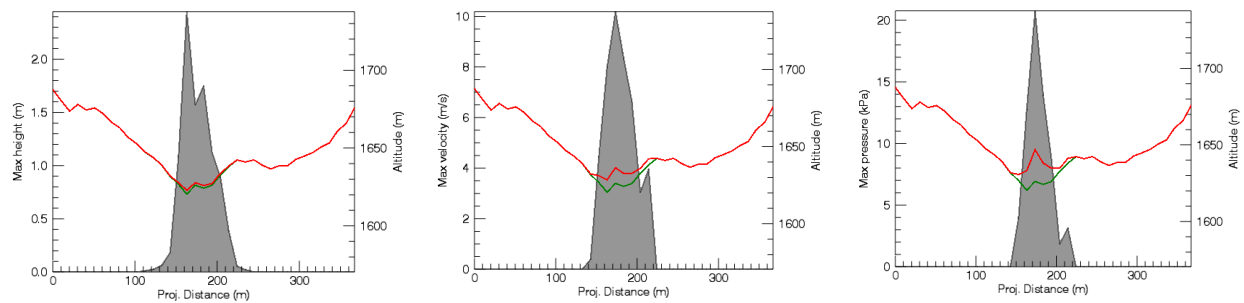
Şekil 3.53  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.54  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi



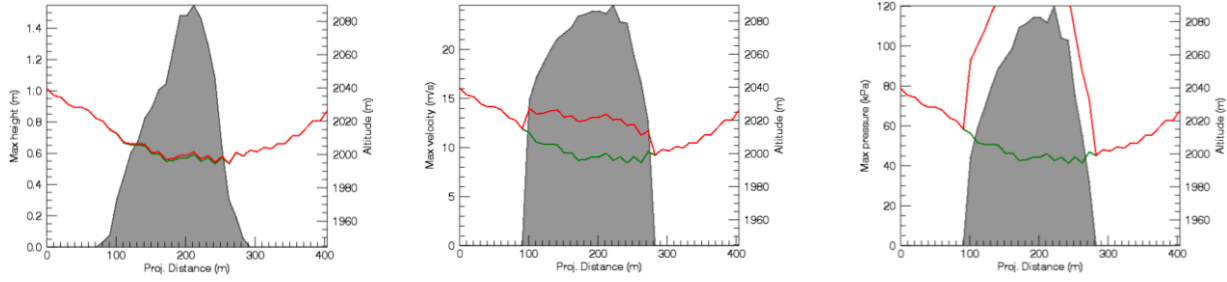
Şekil 3.55  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi



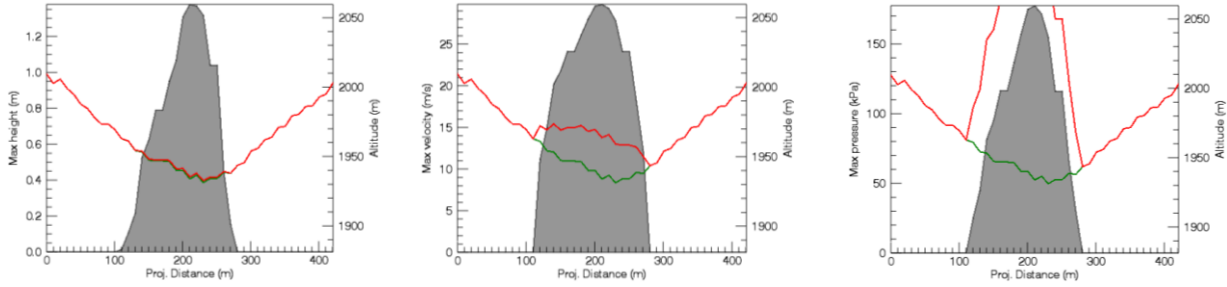
Şekil 3.56  $A_{25000}$  -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi



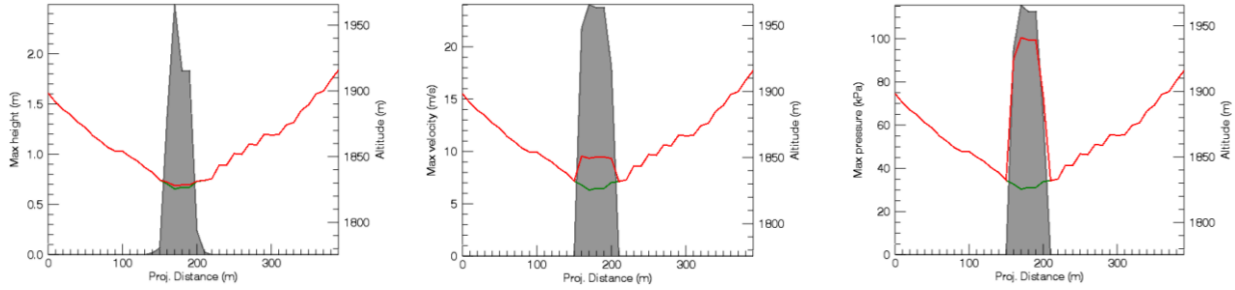
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



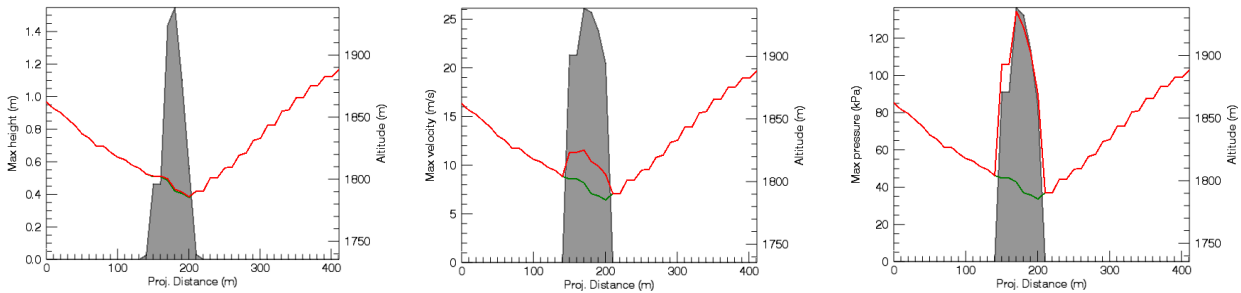
Şekil 3.57 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.58 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

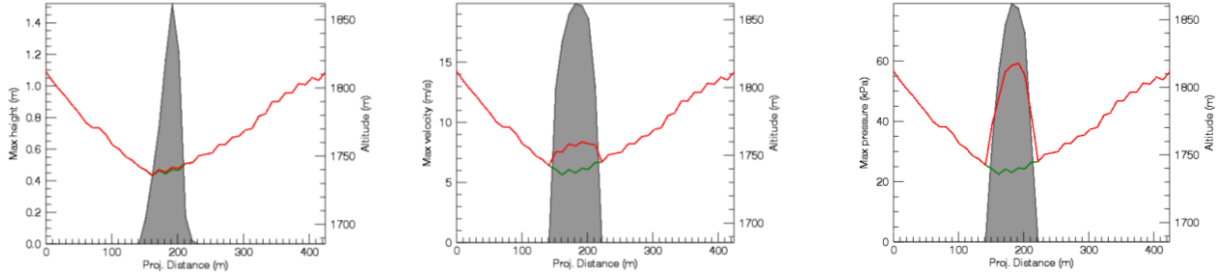


Şekil 3.59 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

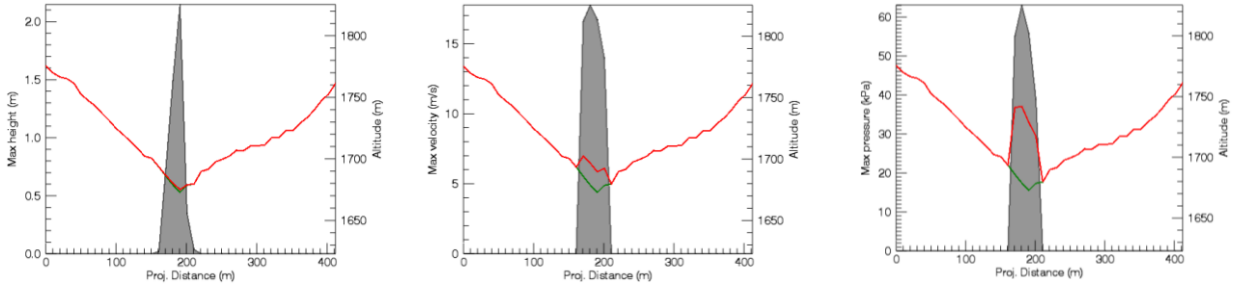


Şekil 3.60 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

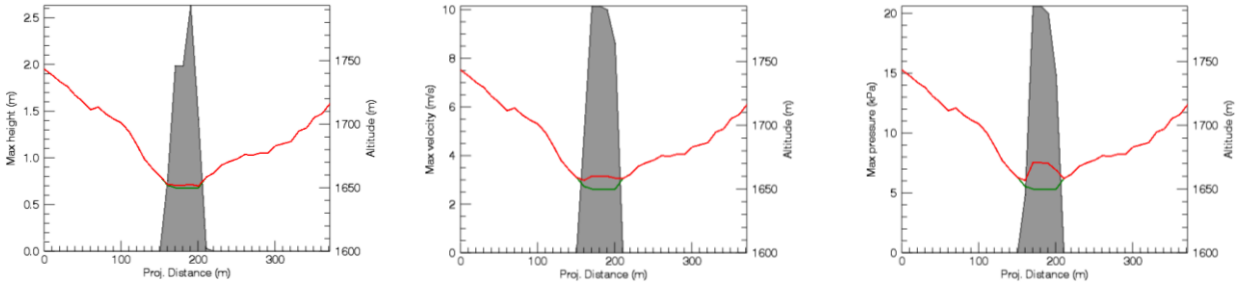
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



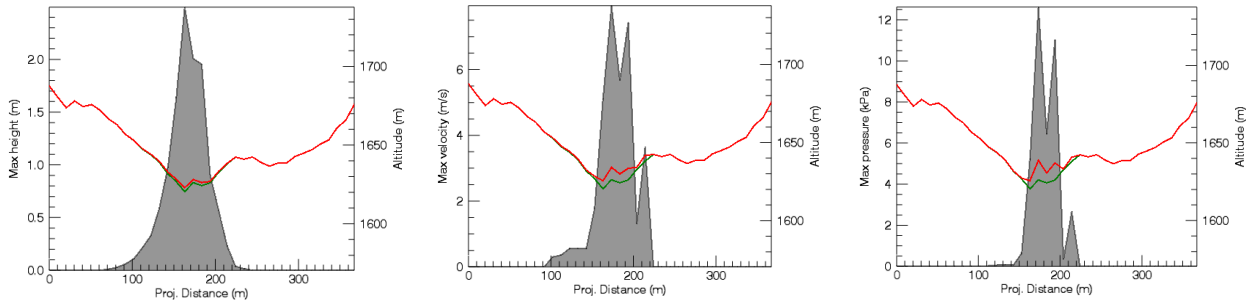
Şekil 3.61 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.62 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

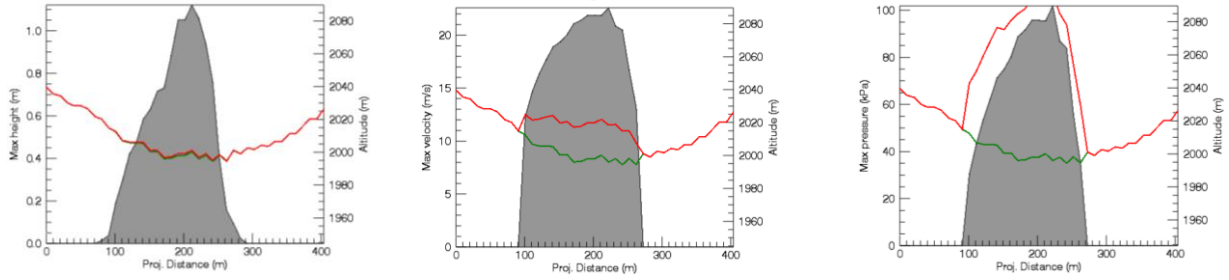


Şekil 3.63 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

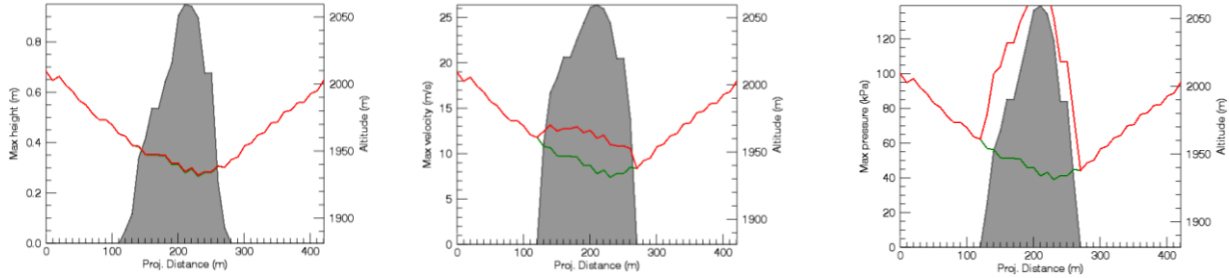


Şekil 3.64 A<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

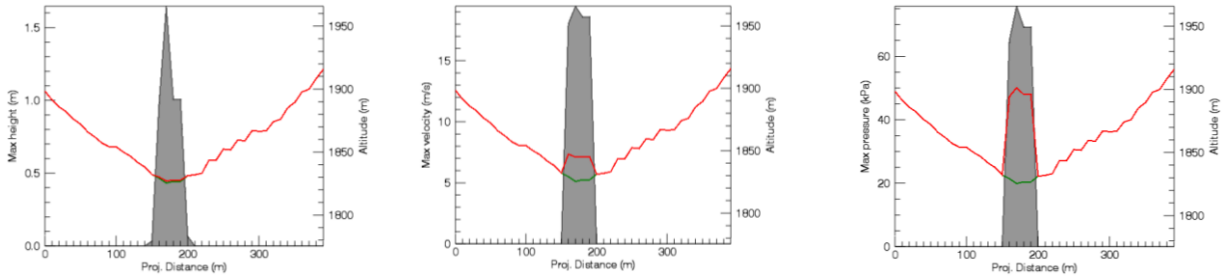
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



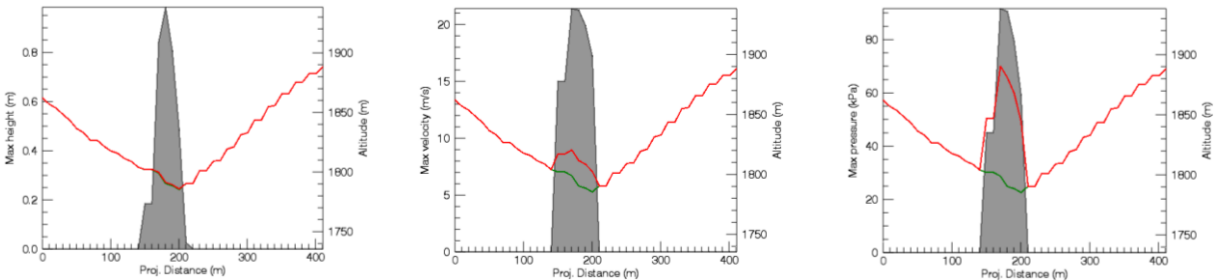
Şekil 3.65 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.66 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

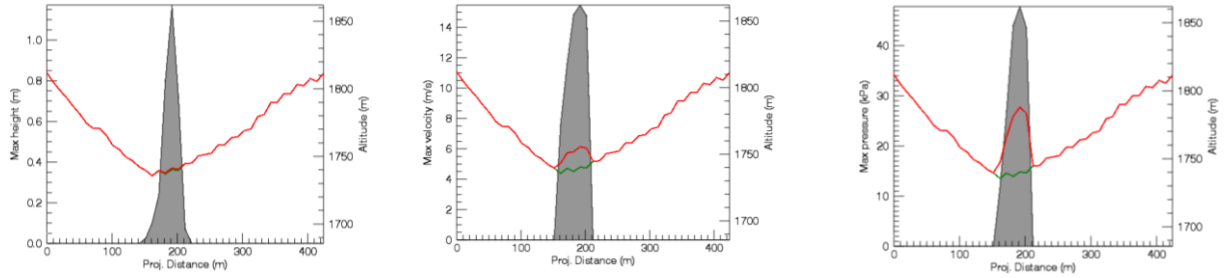


Şekil 3.67 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

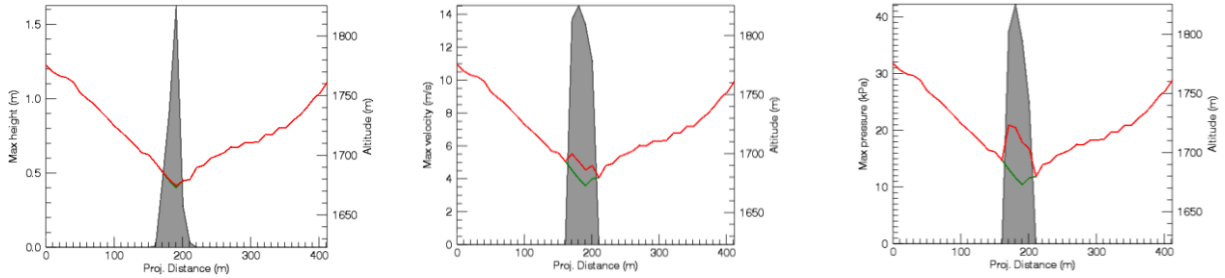


Şekil 3.68 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

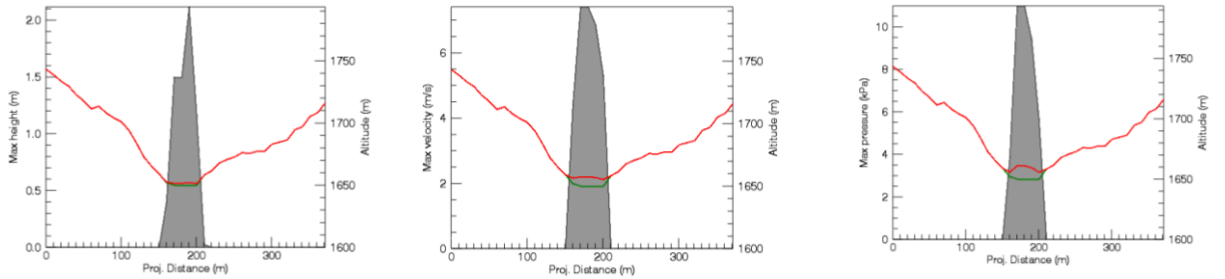
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



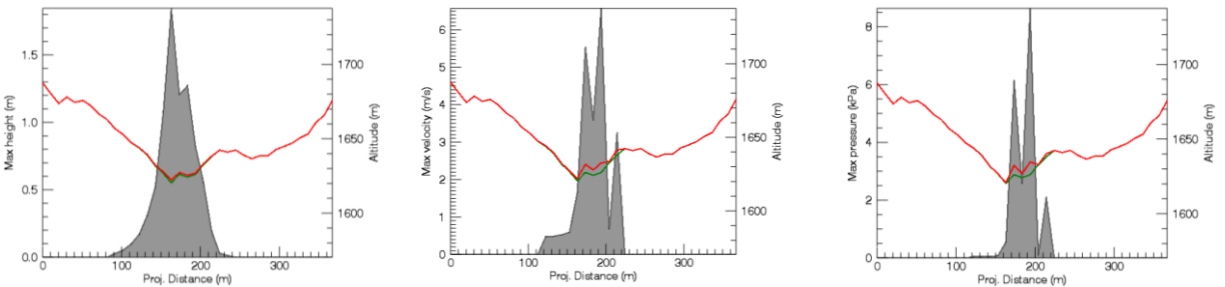
Şekil 3.69 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.70 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

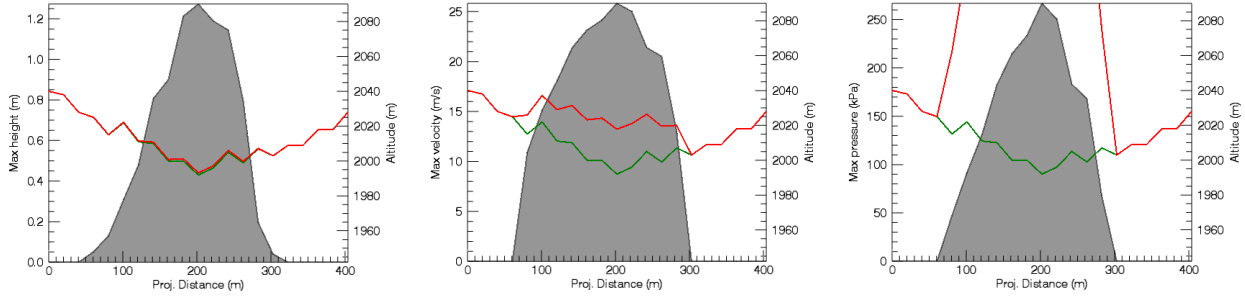


Şekil 3.71 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

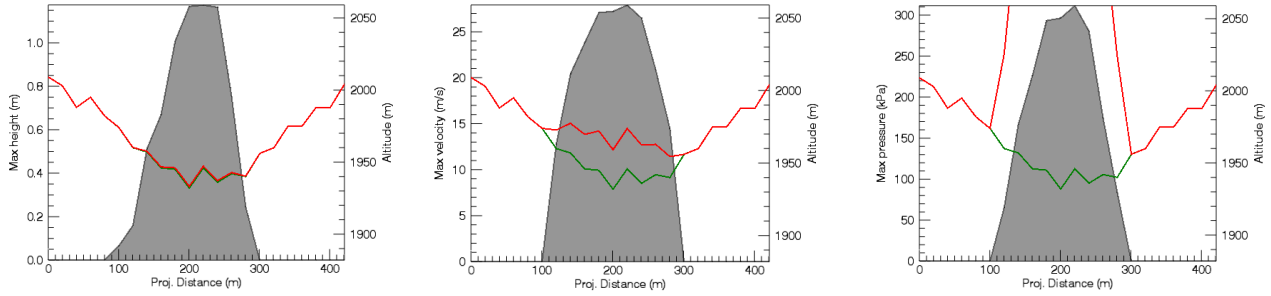


Şekil 3.72 A<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

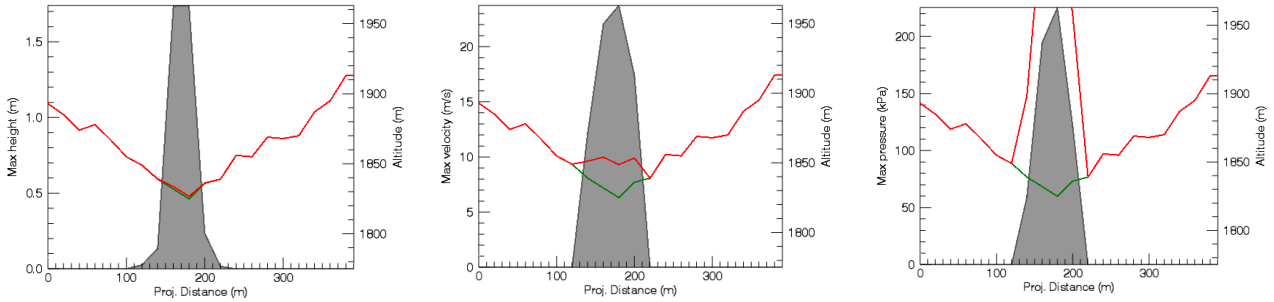
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



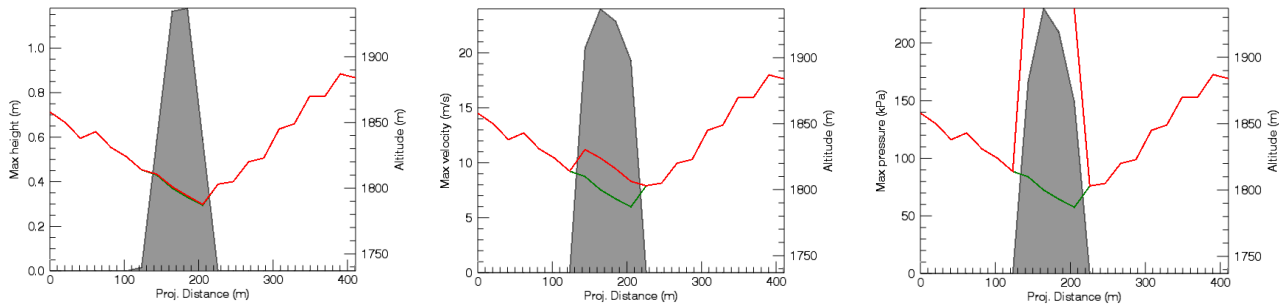
Şekil 3.73 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.74 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

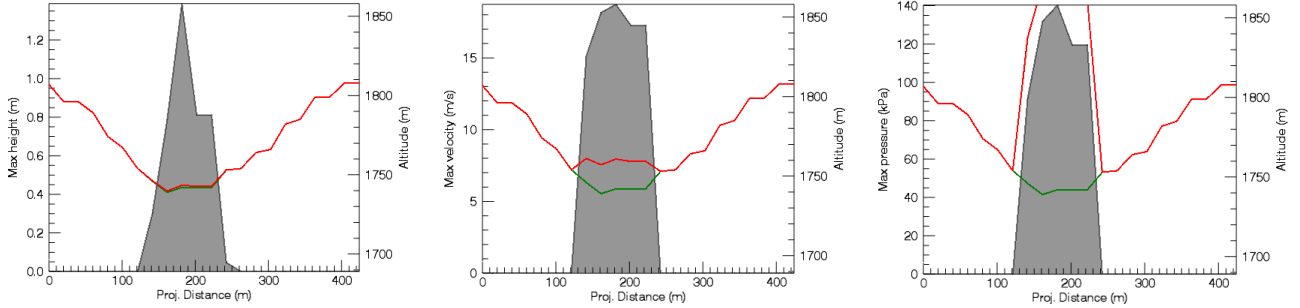


Şekil 3.75 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

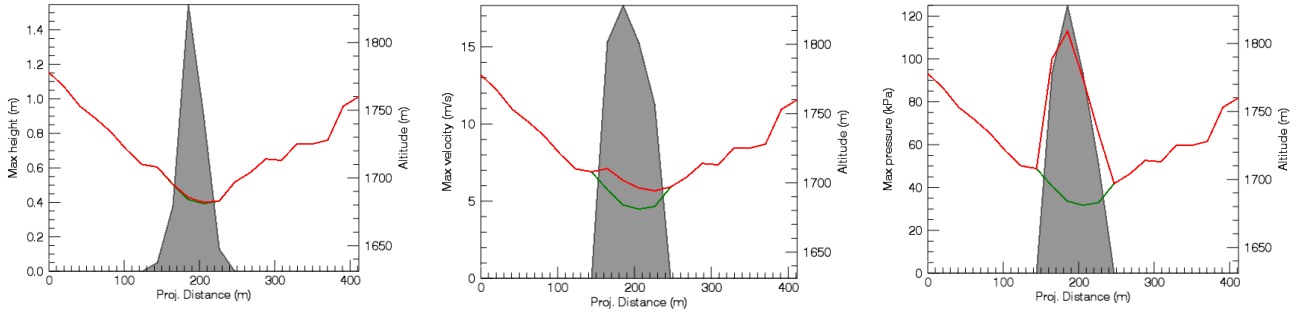


Şekil 3.76 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

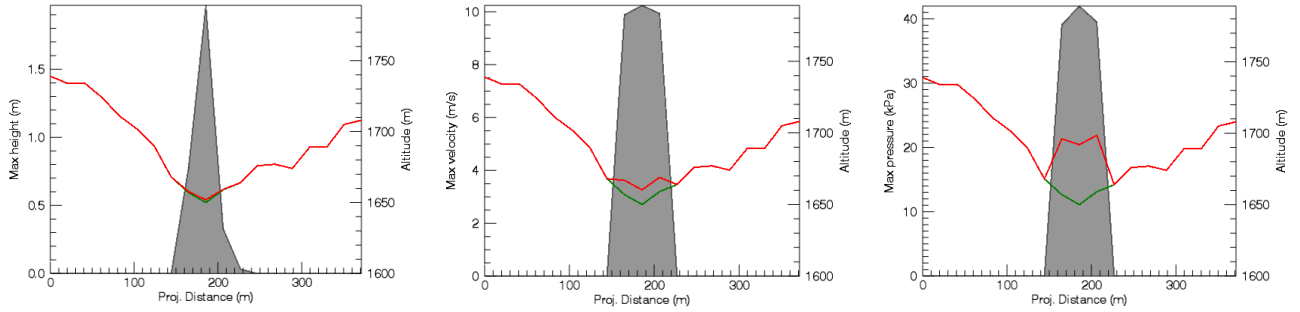
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



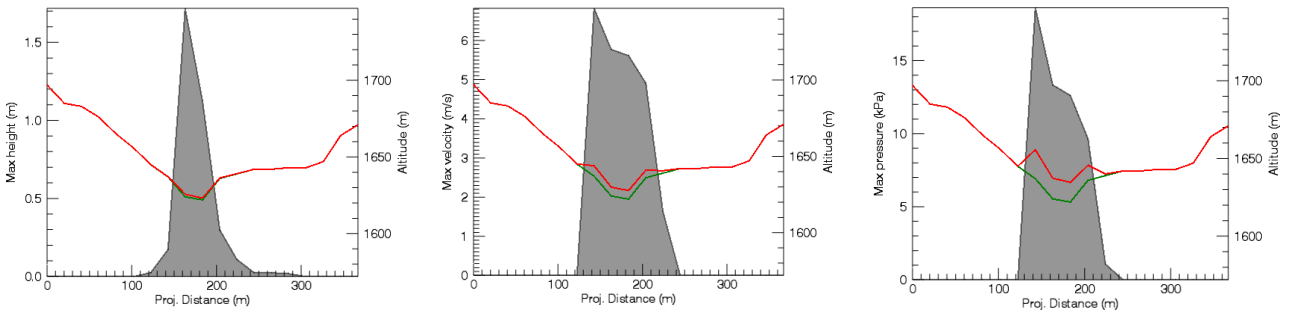
Şekil 3.77 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.78 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

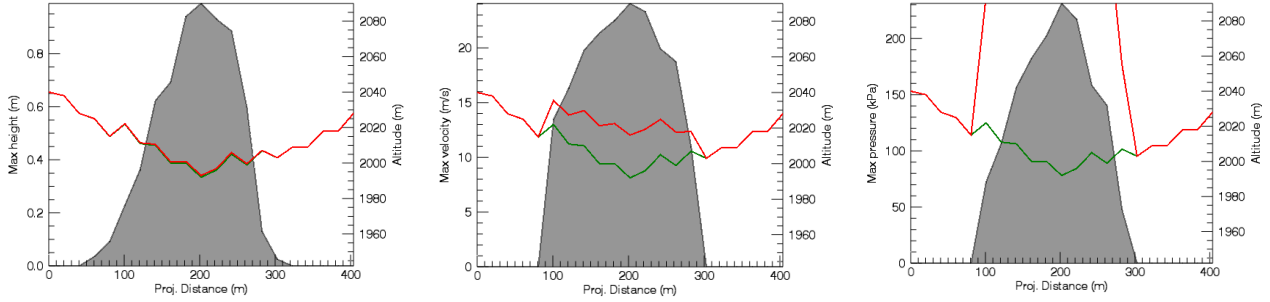


Şekil 3.79 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

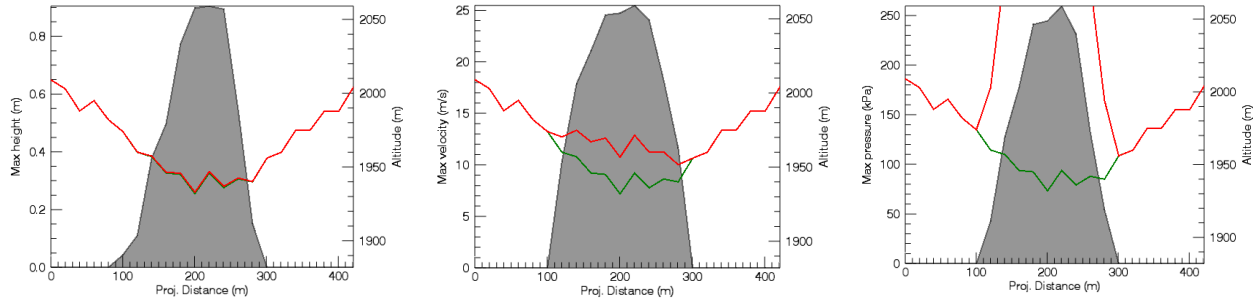


Şekil 3.80 B<sub>25000</sub> -1.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

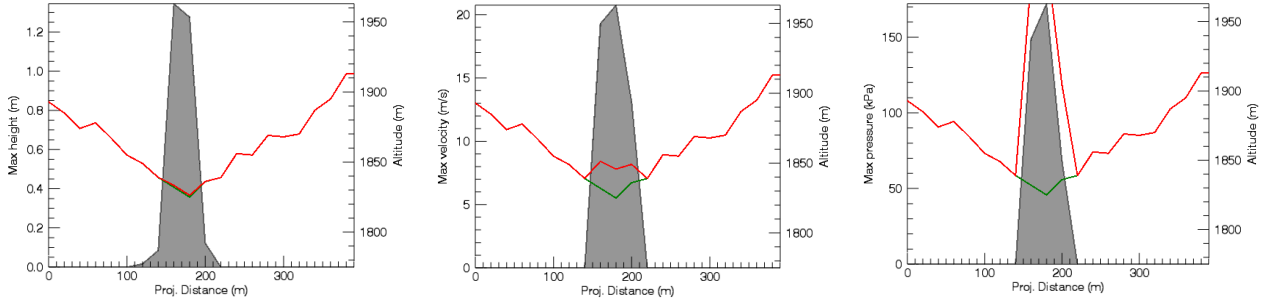
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



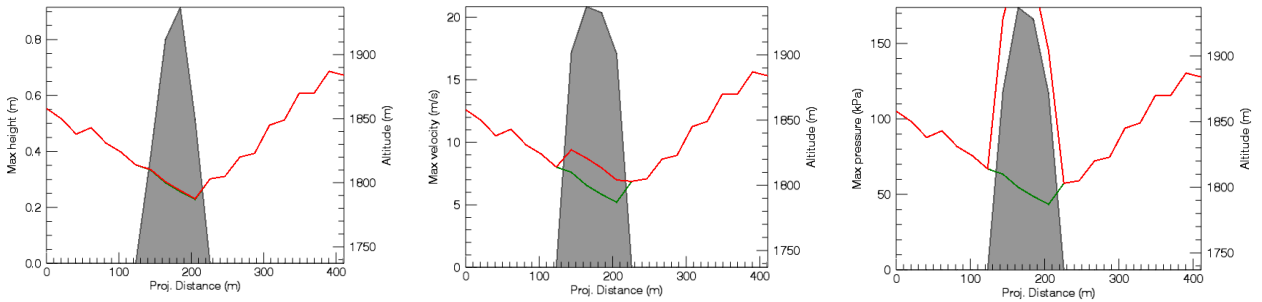
Şekil 3.81 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.82 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi



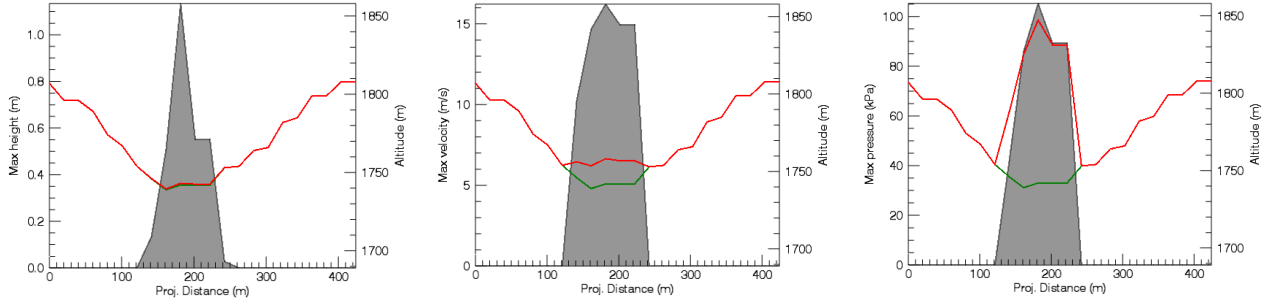
Şekil 3.83 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi



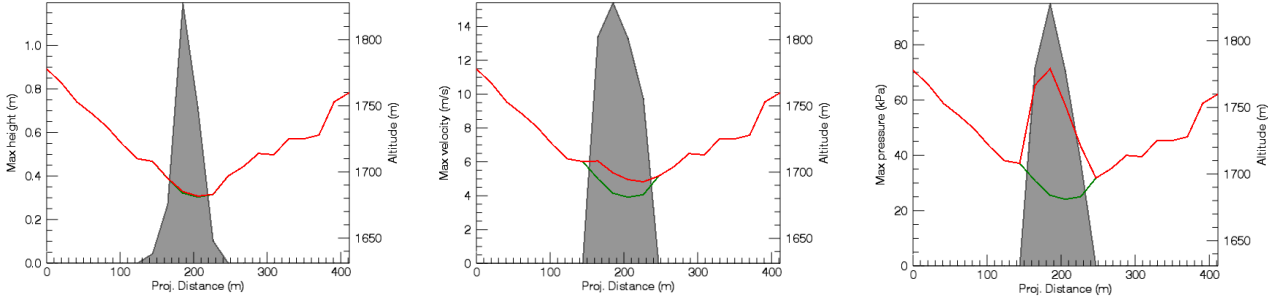
Şekil 3.84 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi



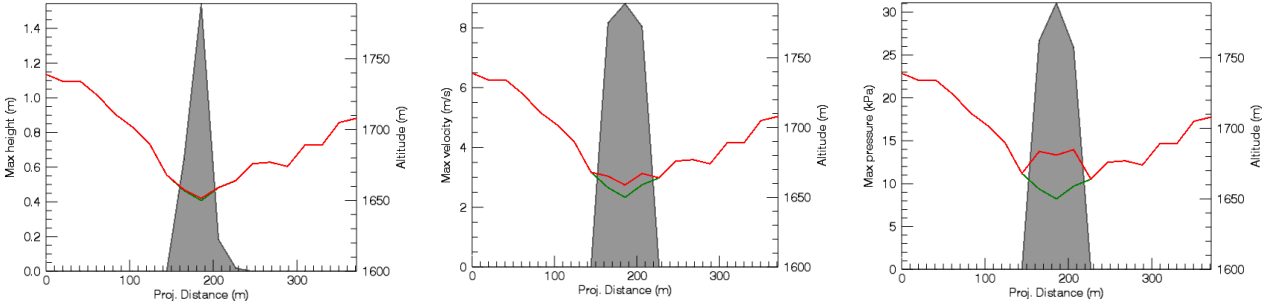
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



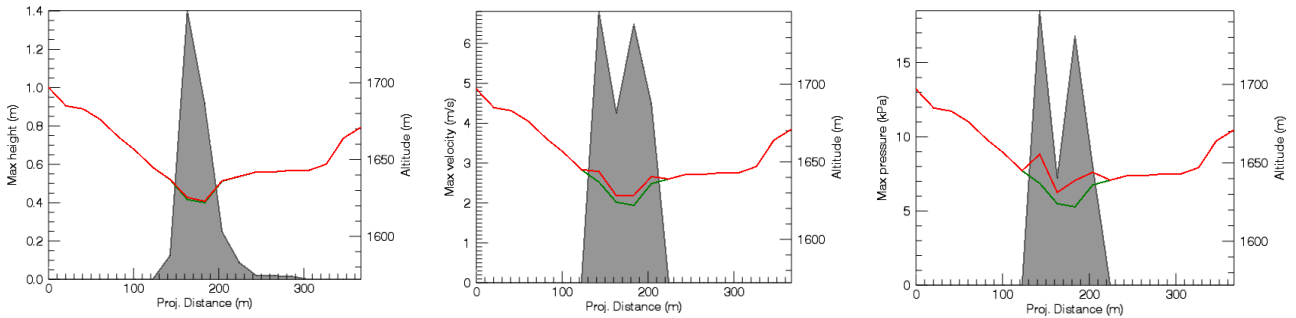
Şekil 3.85 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.86 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

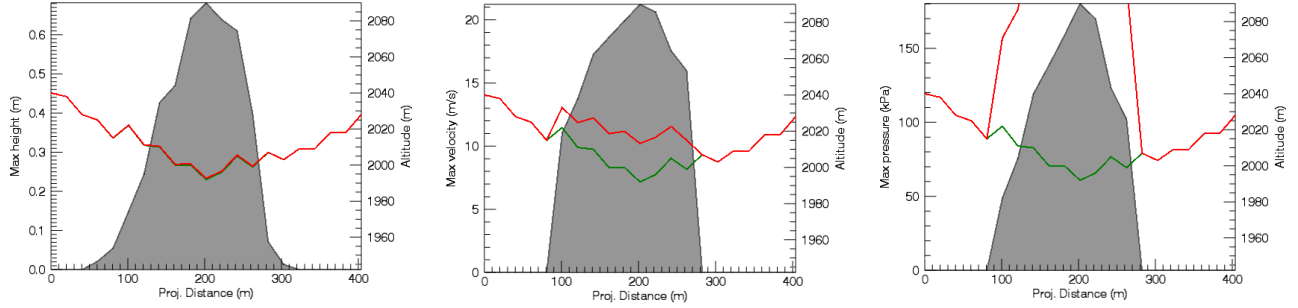


Şekil 3.87 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

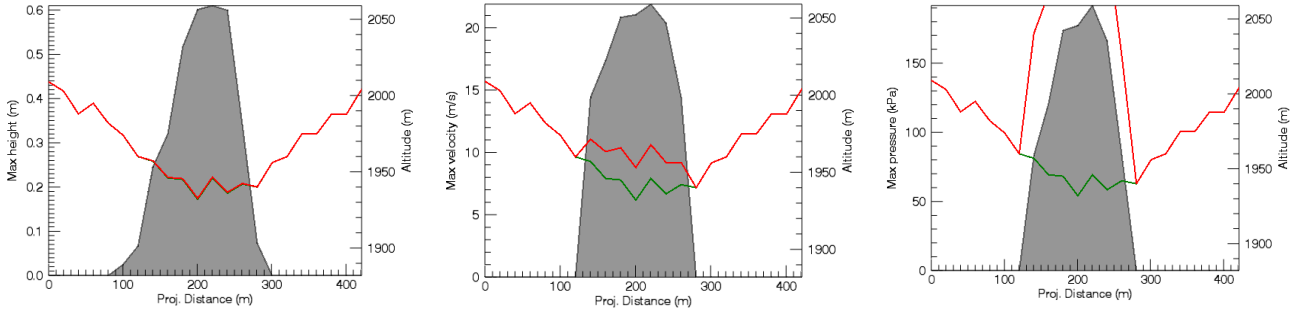


Şekil 3.88 B<sub>25000</sub> -1.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

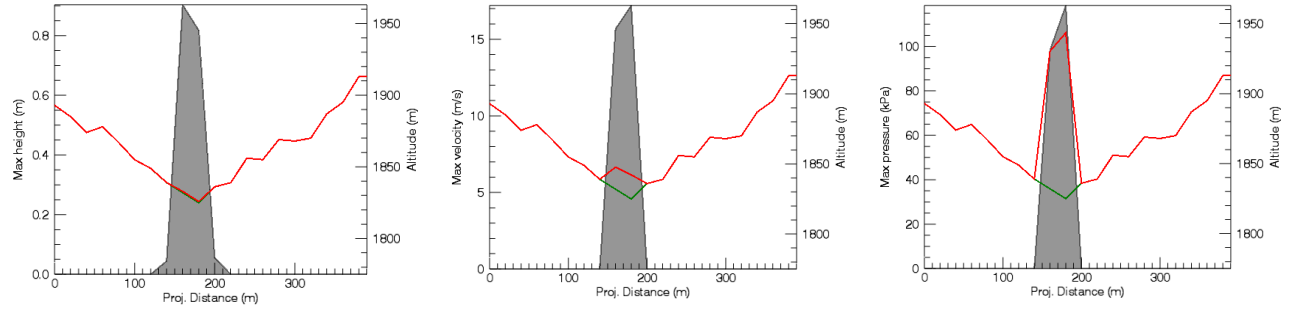
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



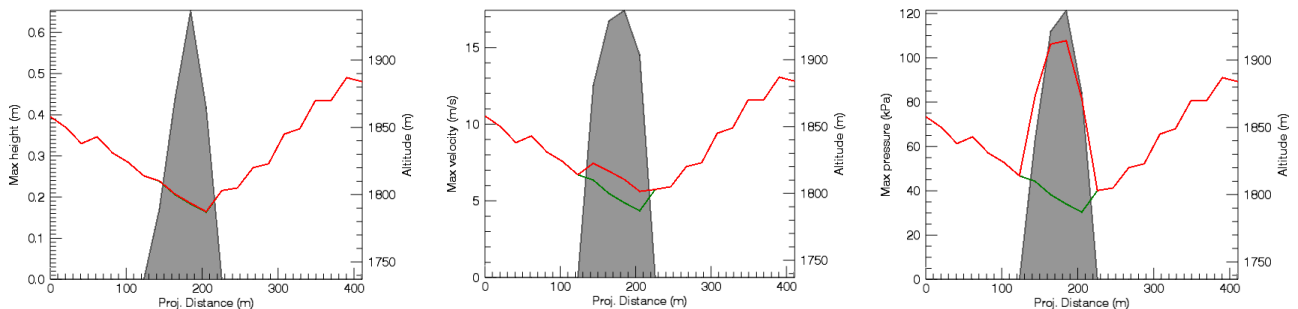
Şekil 3.89 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.90 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

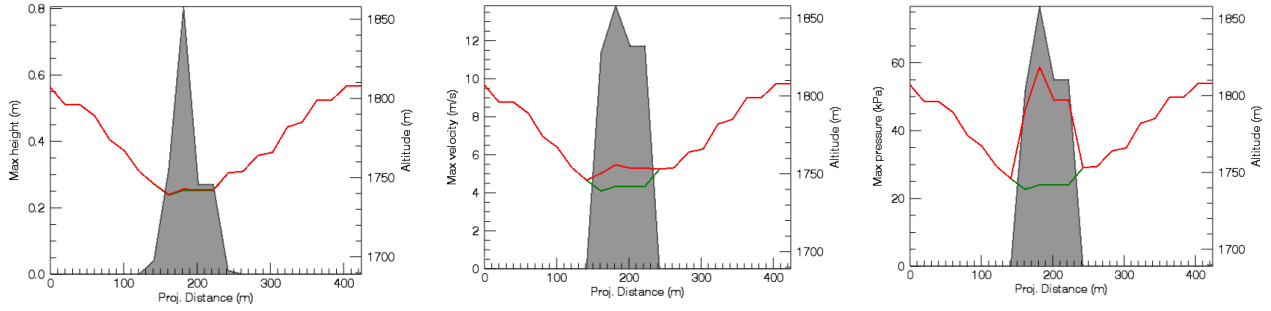


Şekil 3.91 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

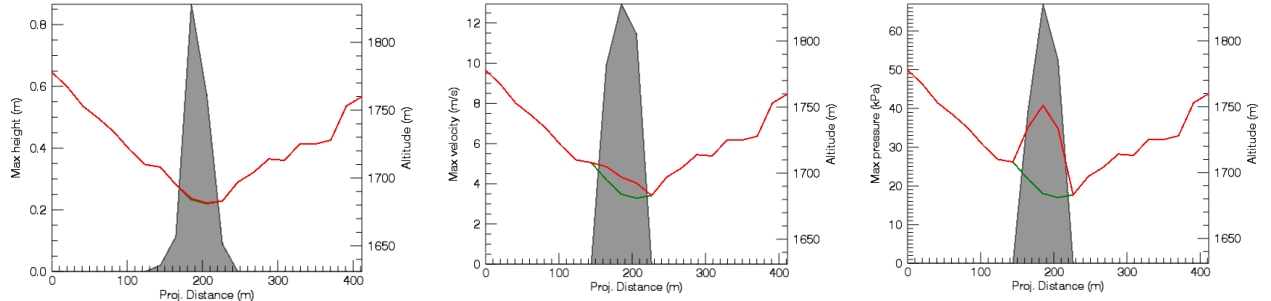


Şekil 3.92 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

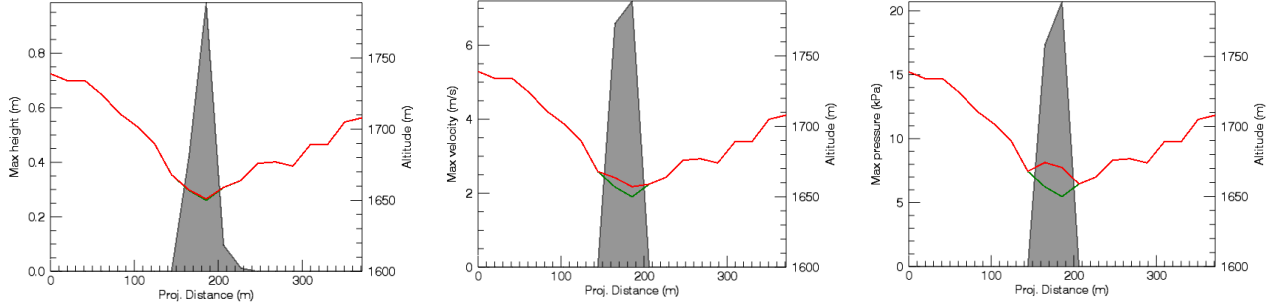
**EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri**



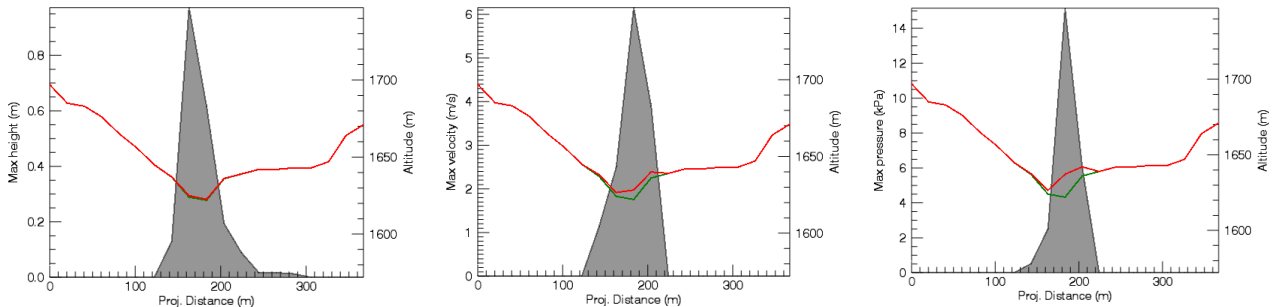
**Şekil 3.93 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi**



**Şekil 3.94 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi**

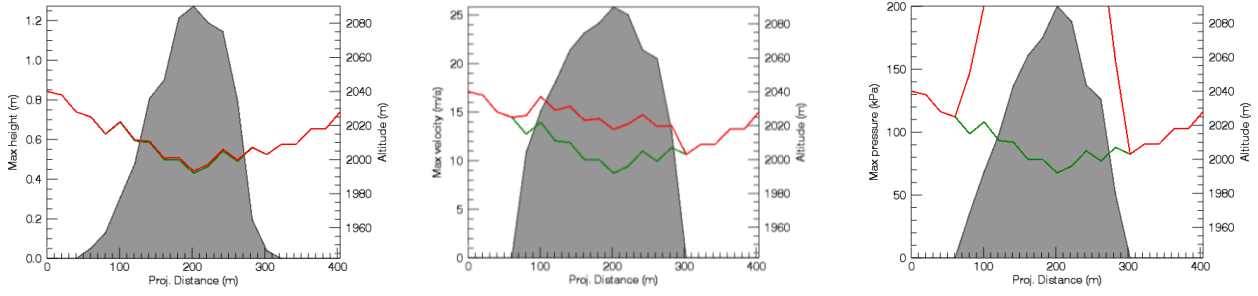


**Şekil 3.95 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi**

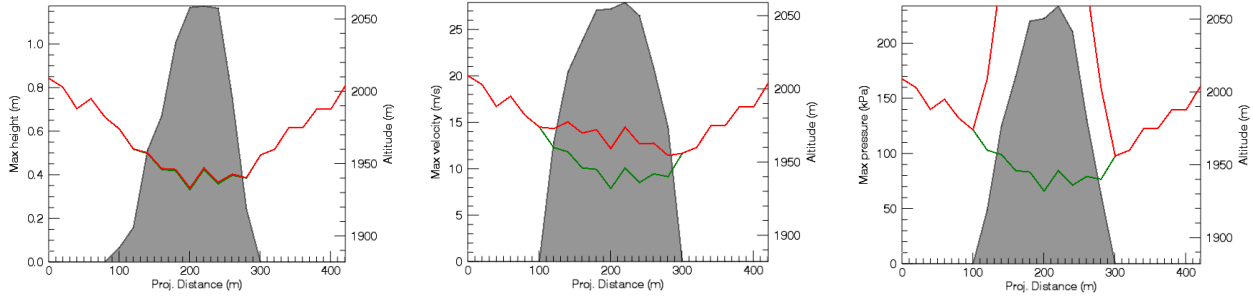


**Şekil 3.96 B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi**

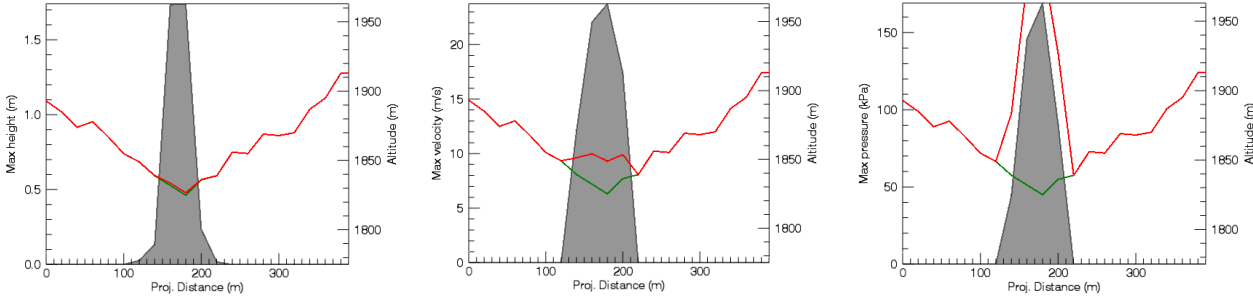
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



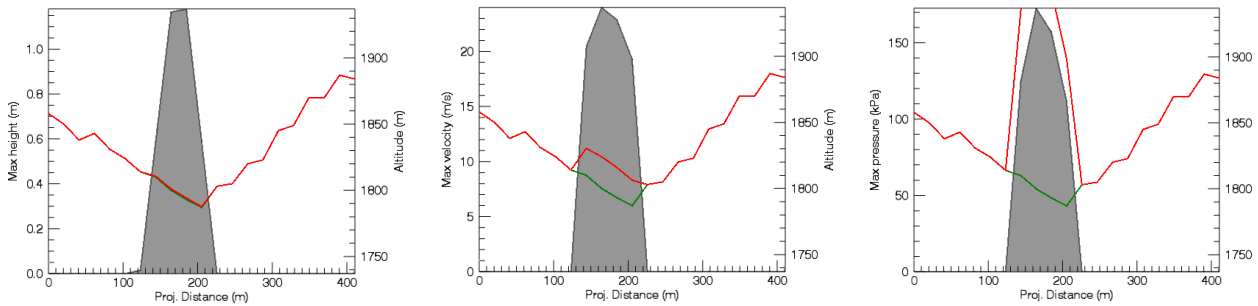
Şekil 3.97 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.98 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

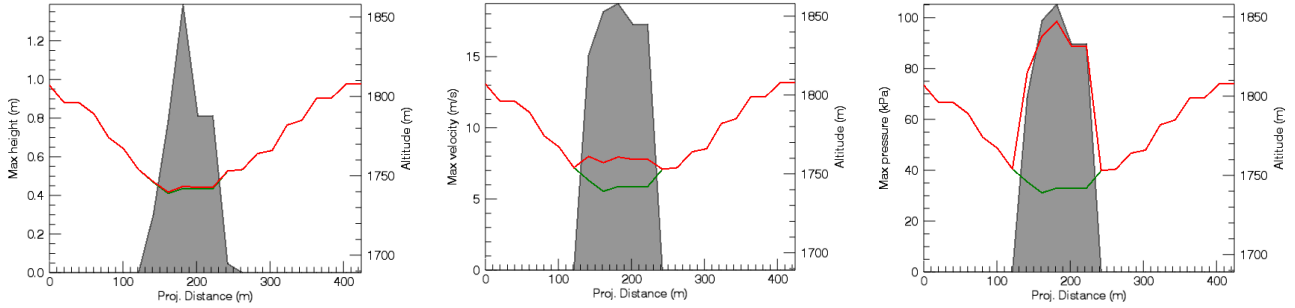


Şekil 3.99 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

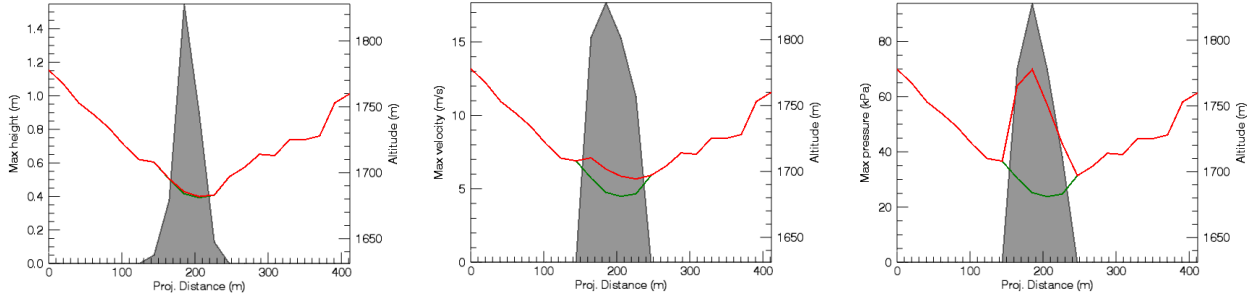


Şekil 3.100 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

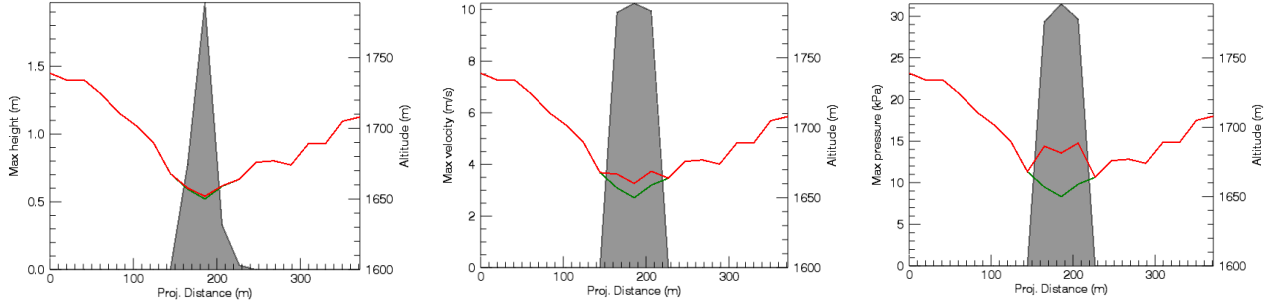
**EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri**



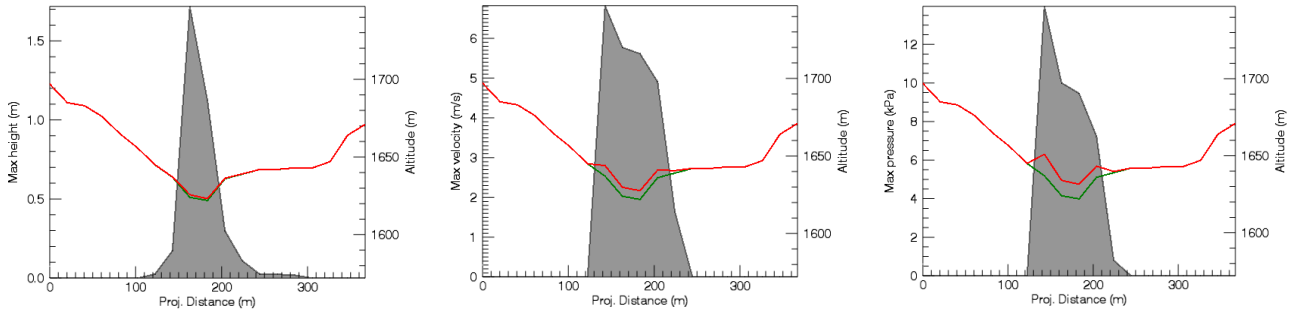
**Şekil 3.101 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi**



**Şekil 3.102 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi**

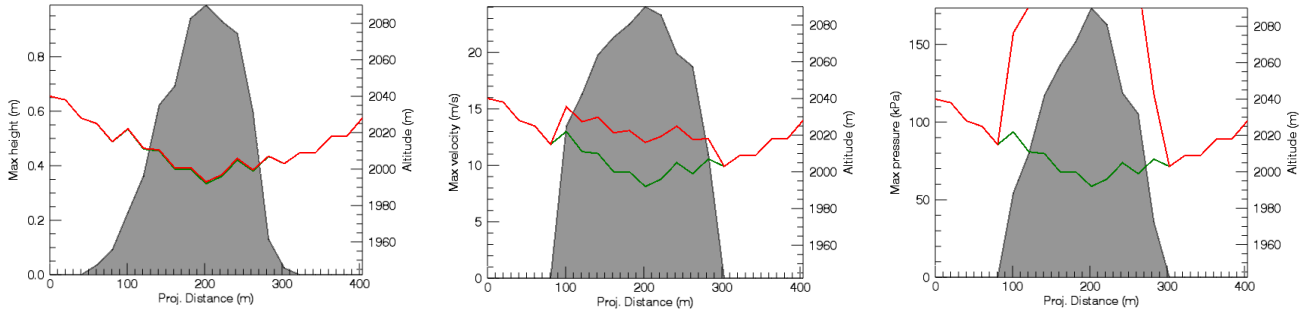


**Şekil 3.103 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi**

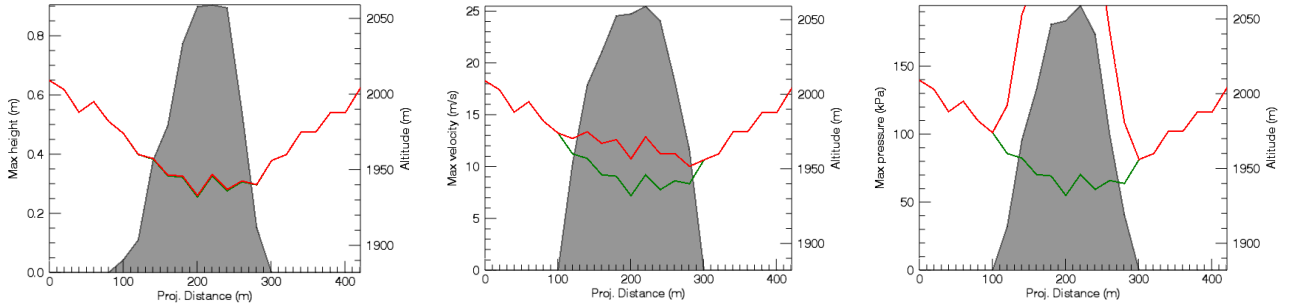


**Şekil 3.104 B<sub>25000</sub> -3.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi**

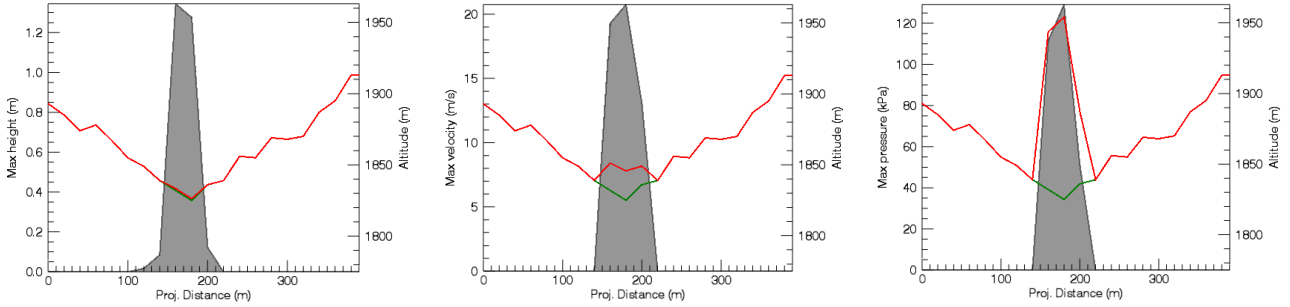
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



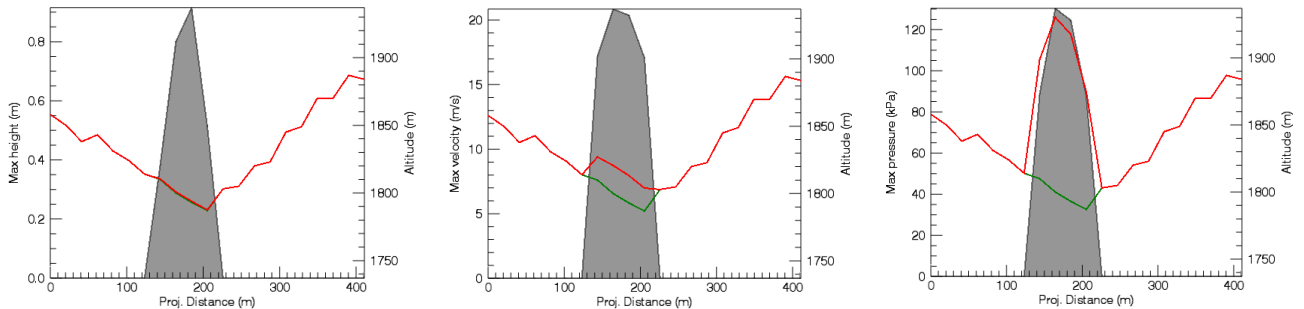
Şekil 3.105 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.106 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

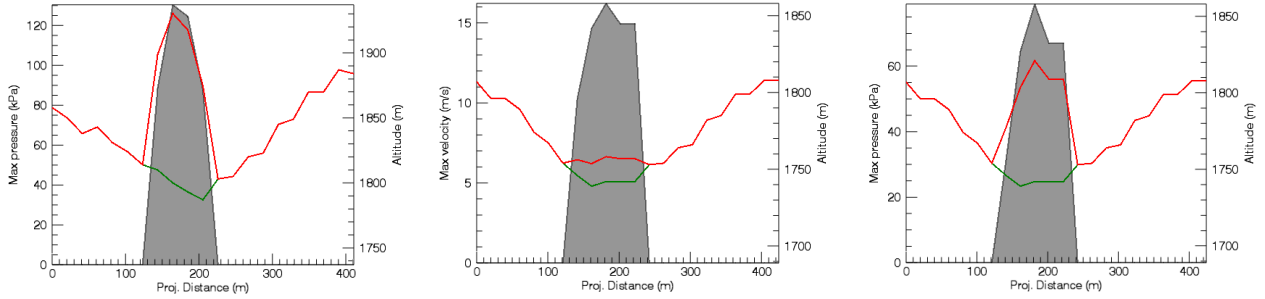


Şekil 3.107 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

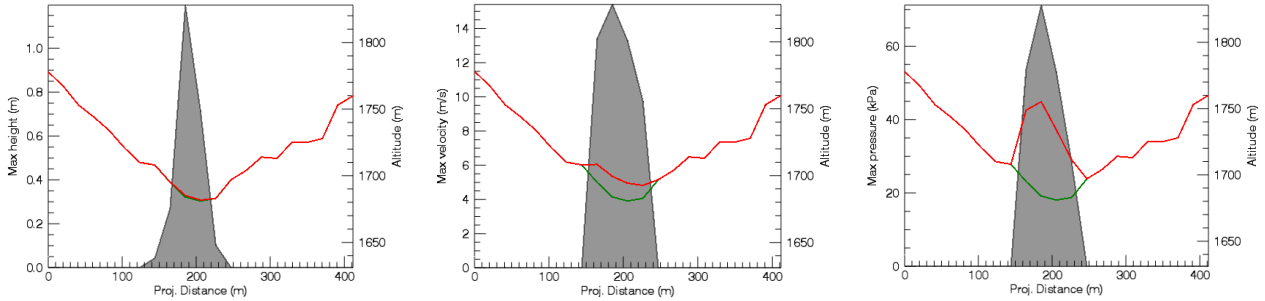


Şekil 3.108 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

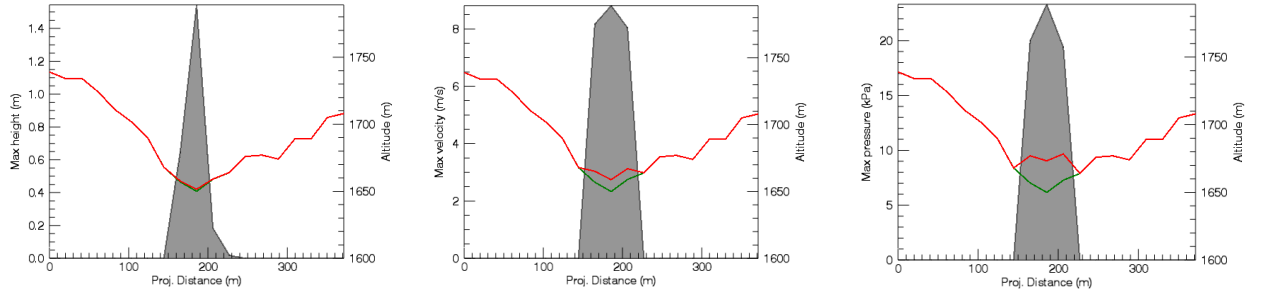
**EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri**



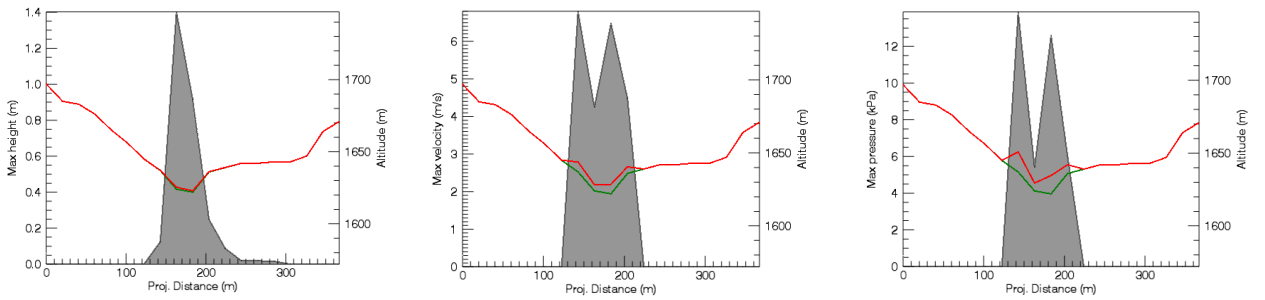
**Şekil 3.109 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi**



**Şekil 3.110 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi**

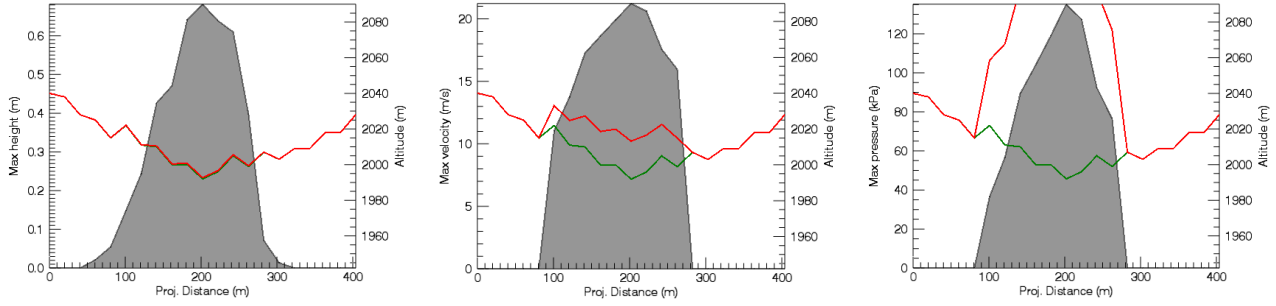


**Şekil 3.111 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi**

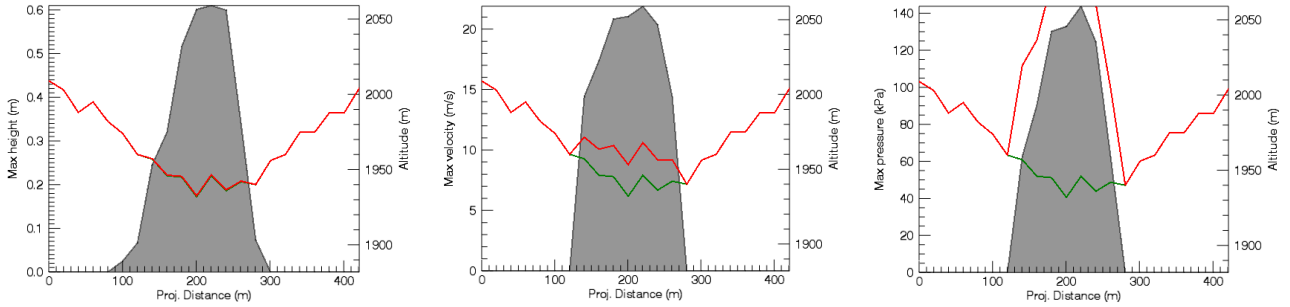


**Şekil 3.112 B<sub>25000</sub> -3.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi**

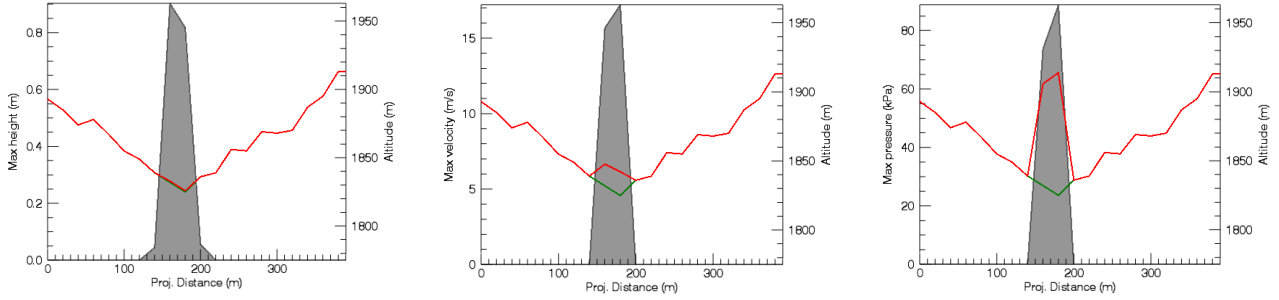
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



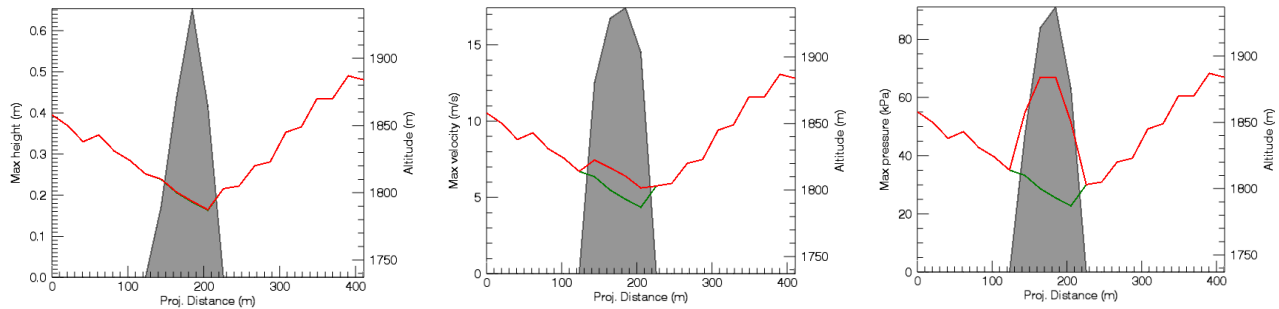
Şekil 3.113 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.114 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi



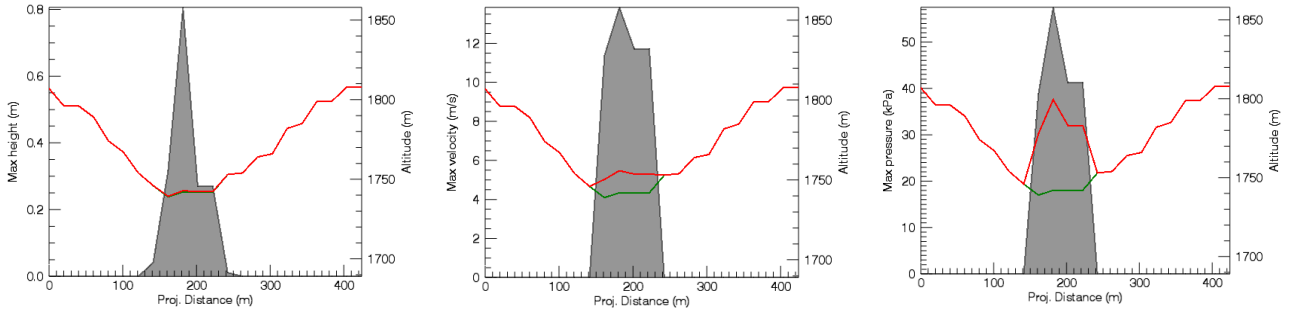
Şekil 3.115 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi



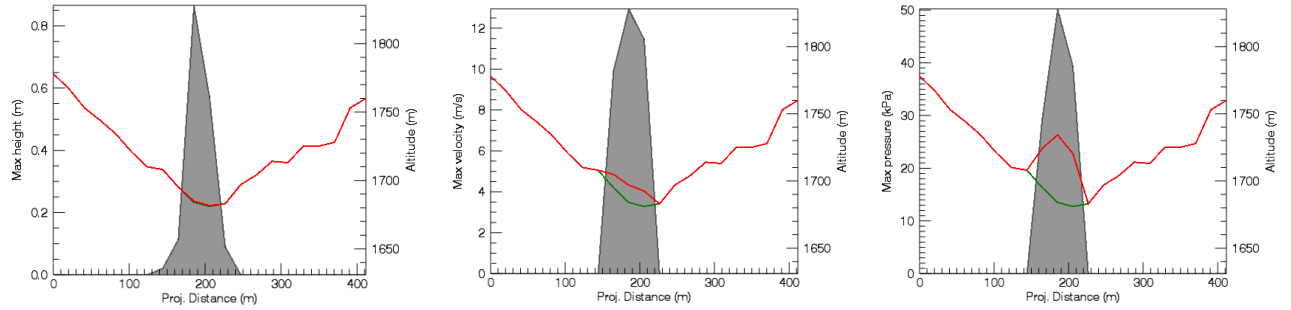
Şekil 3.116 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi



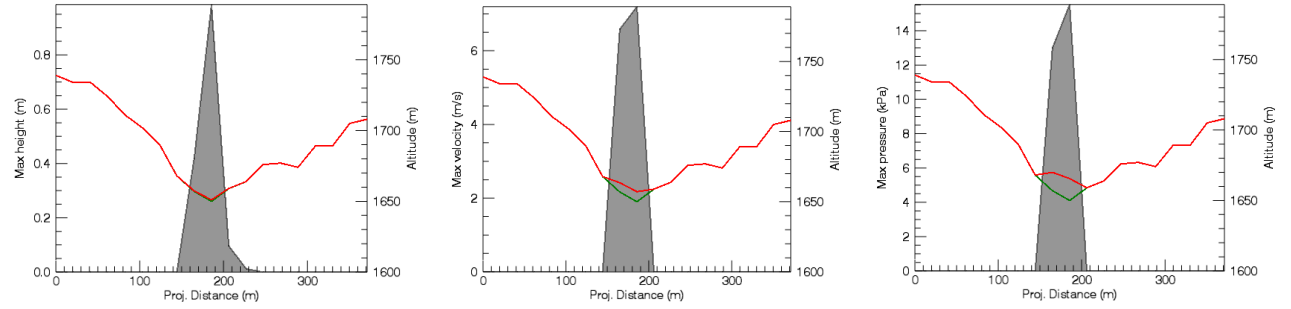
**EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri**



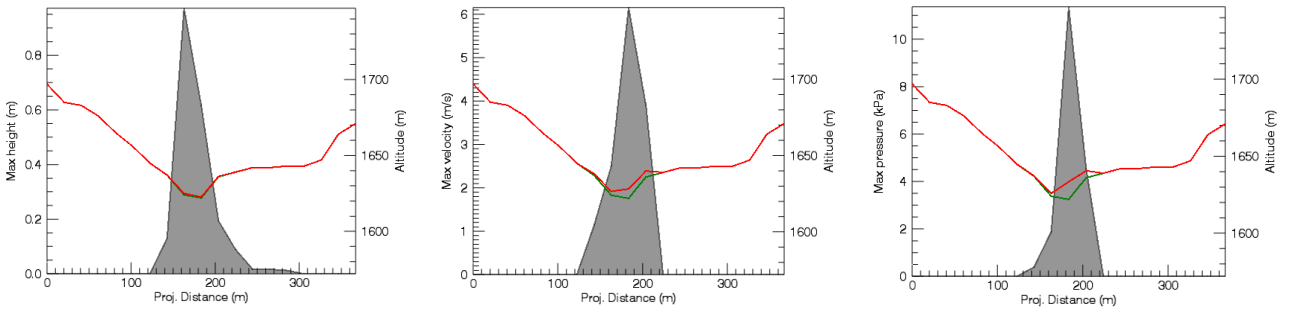
**Şekil 3.117 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi**



**Şekil 3.118 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi**

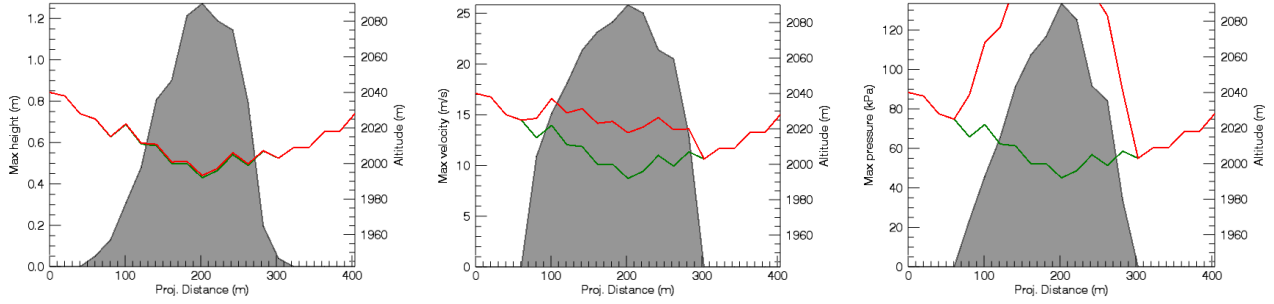


**Şekil 3.119 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi**

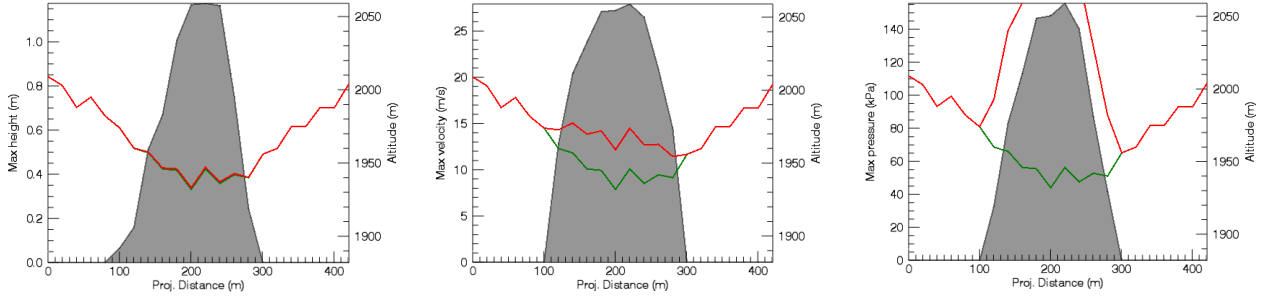


**Şekil 3.120 B<sub>25000</sub> -3.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi**

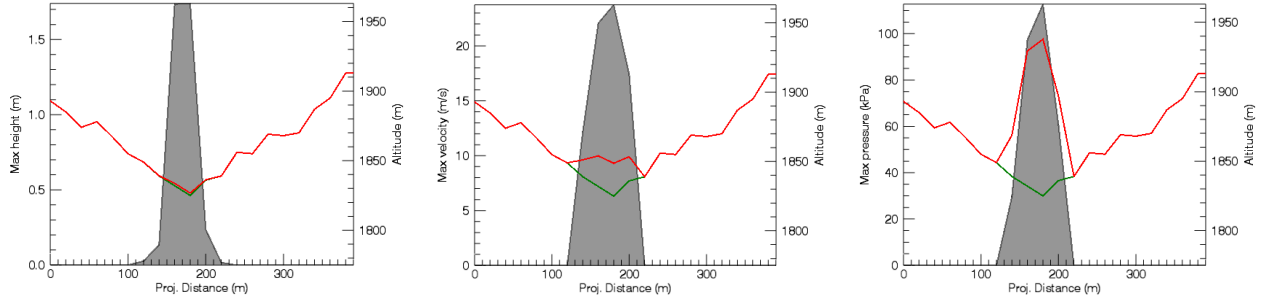
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



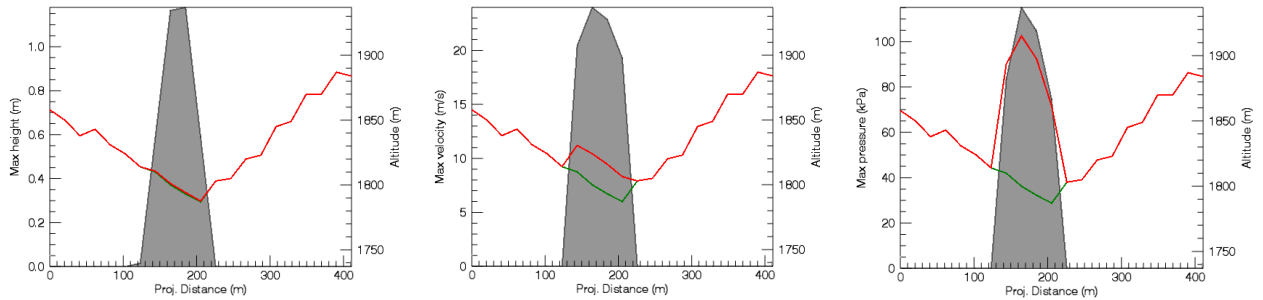
Şekil 3.121 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.122 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

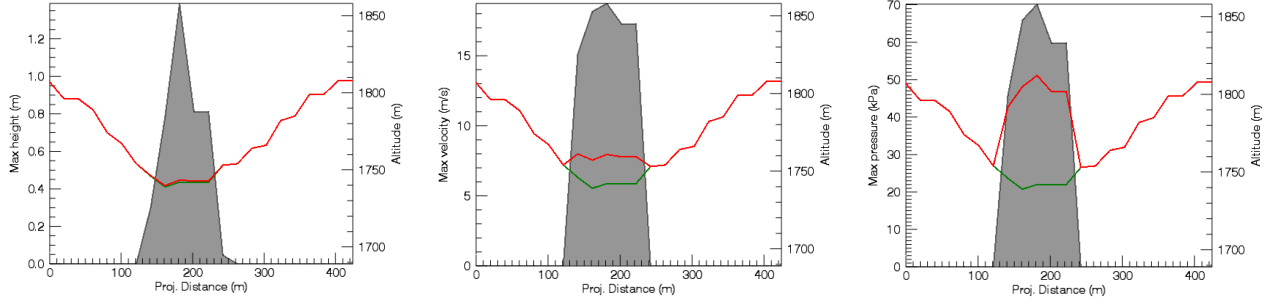


Şekil 3.123 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

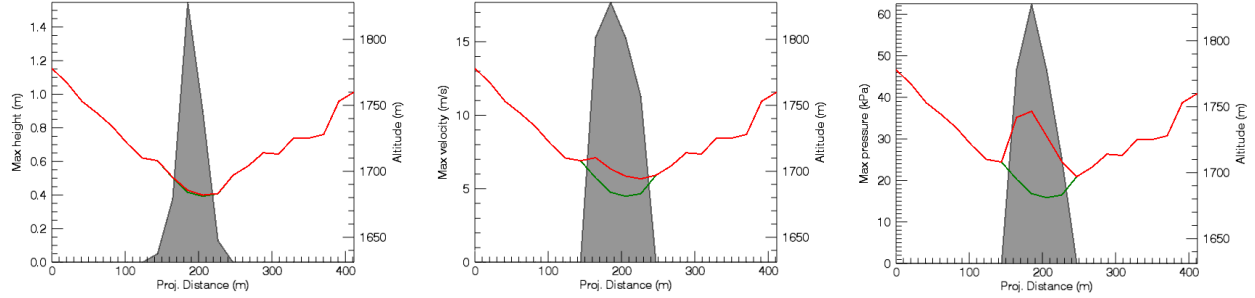


Şekil 3.124 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

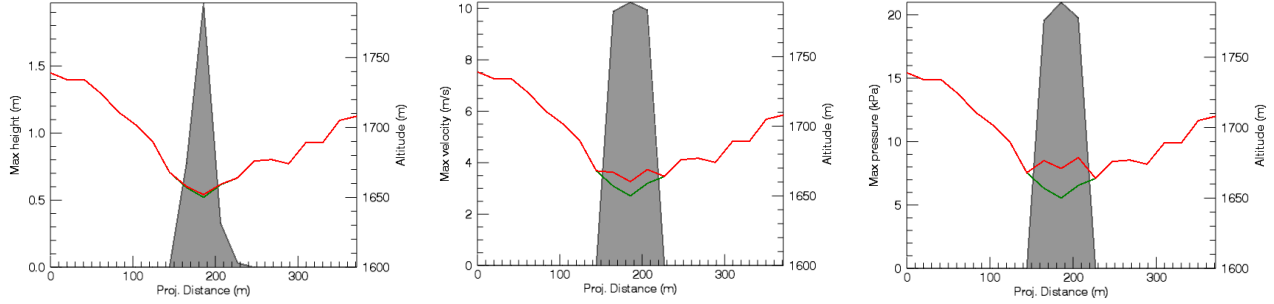
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



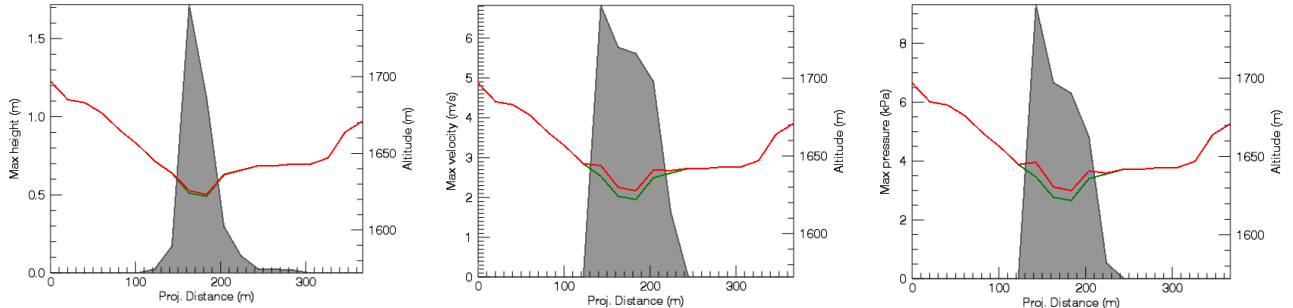
Şekil 3.125 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.126 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

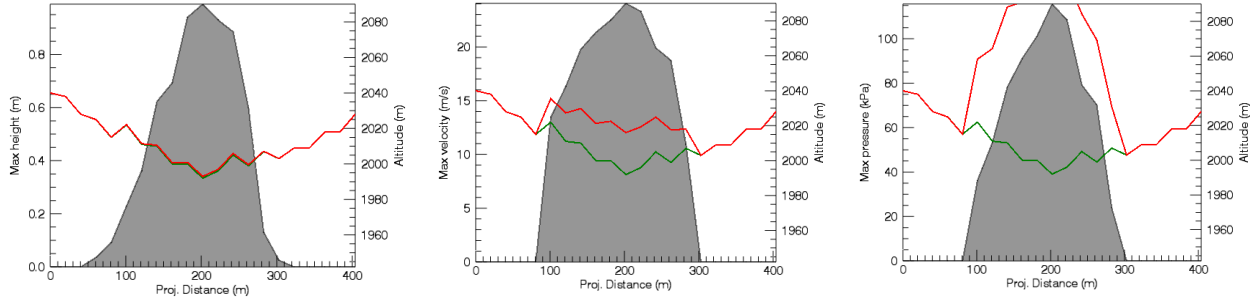


Şekil 3.127 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

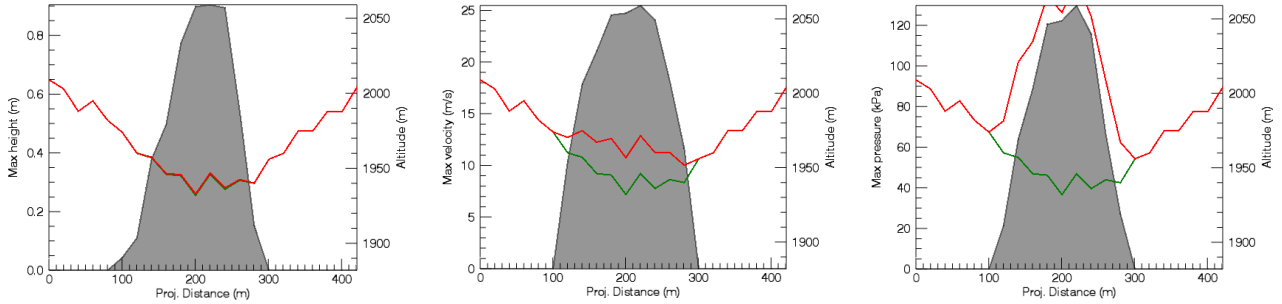


Şekil 3.128 B<sub>25000</sub> -5.1 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

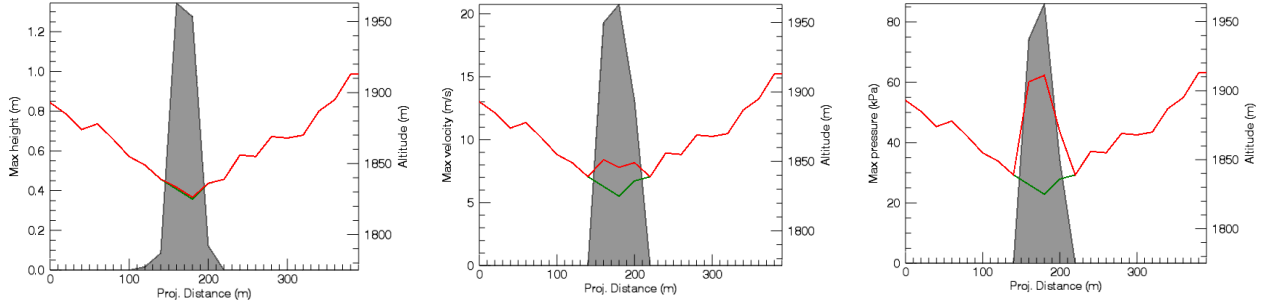
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



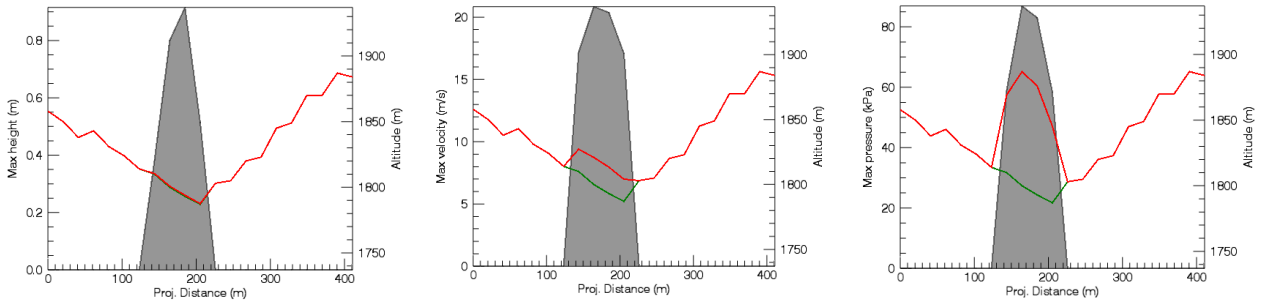
Şekil 3.129 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.130 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

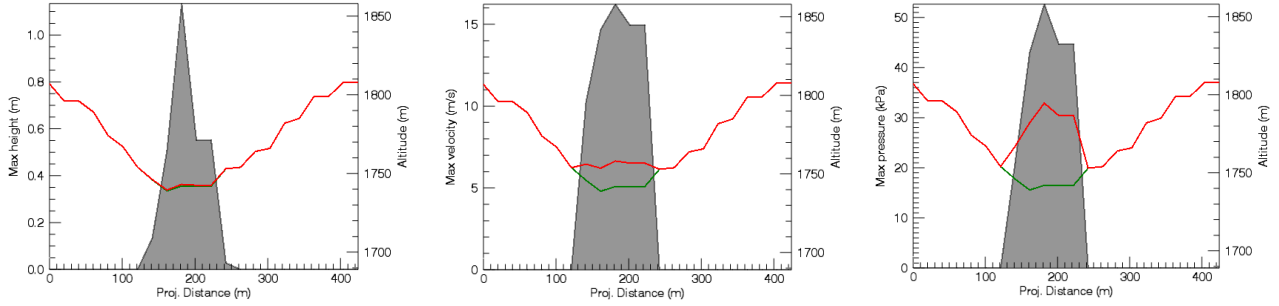


Şekil 3.131 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

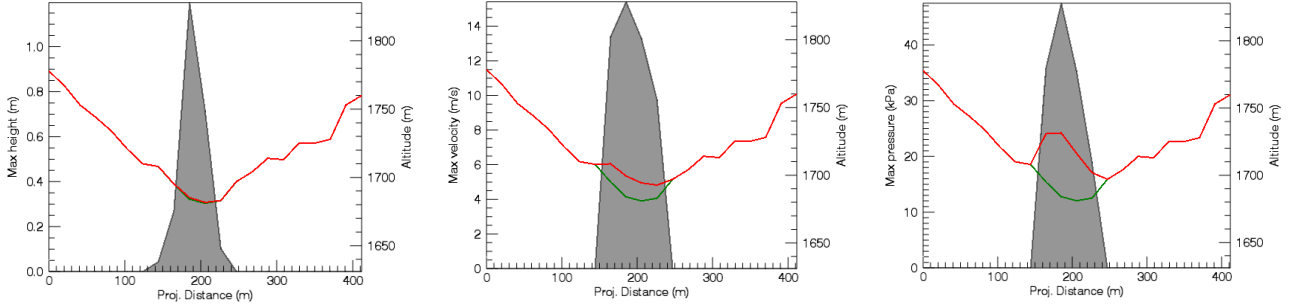


Şekil 3.132 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

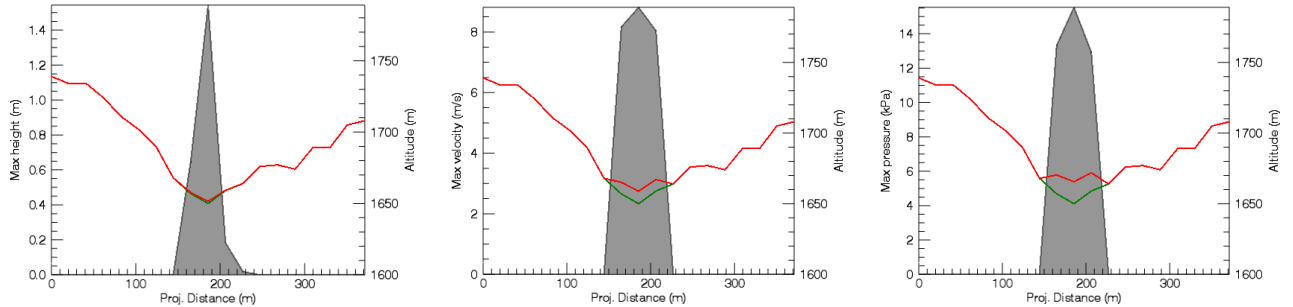
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



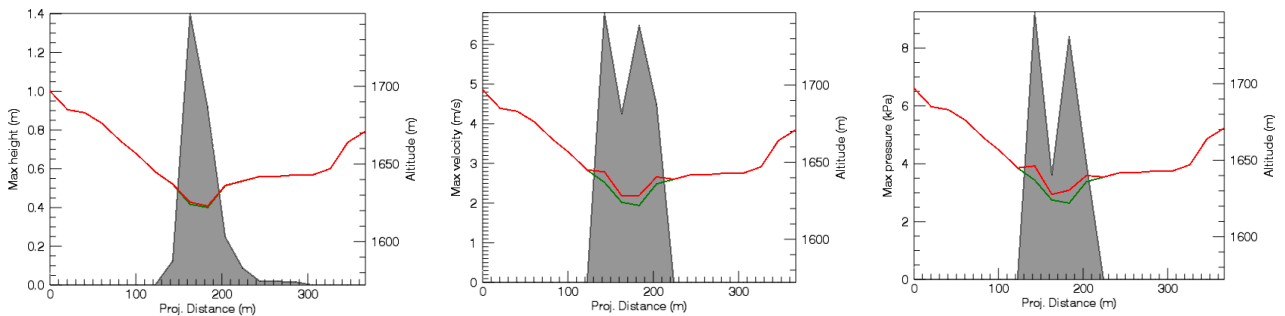
Şekil 3.133 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.134 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

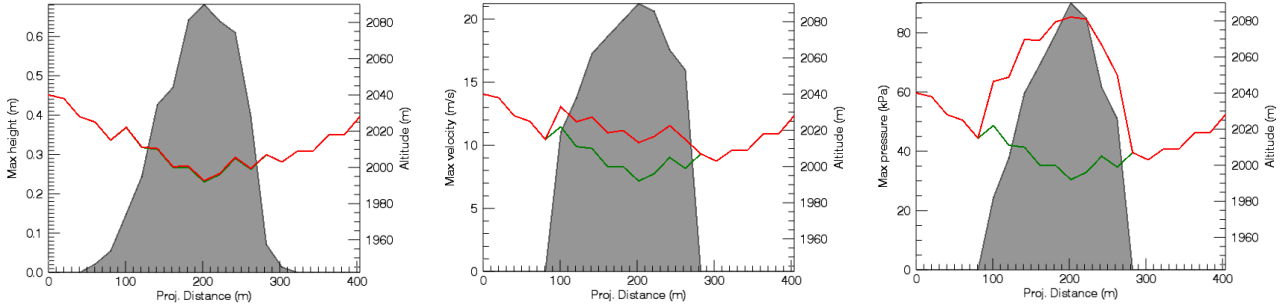


Şekil 3.135 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

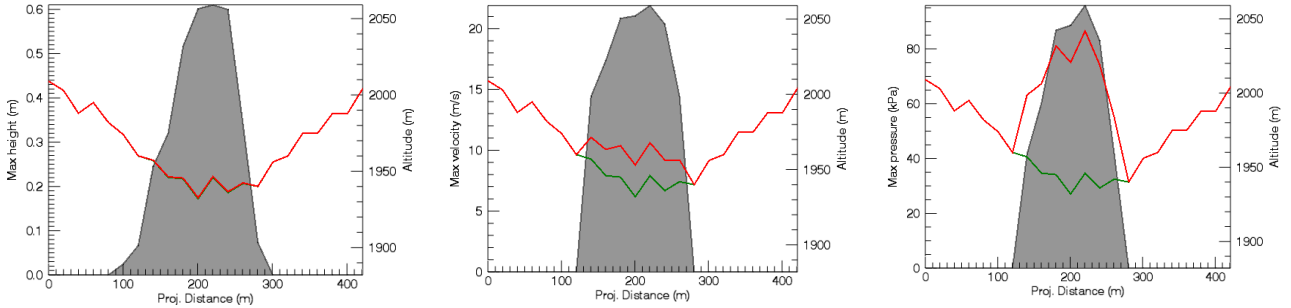


Şekil 3.136 B<sub>25000</sub> -5.3 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

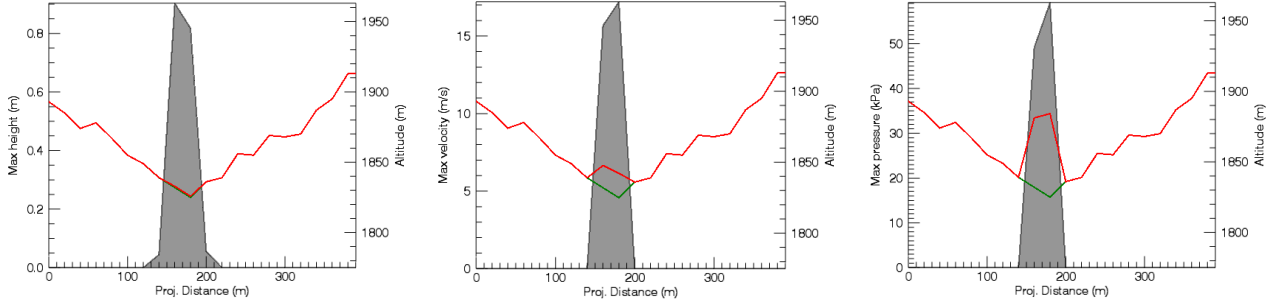
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



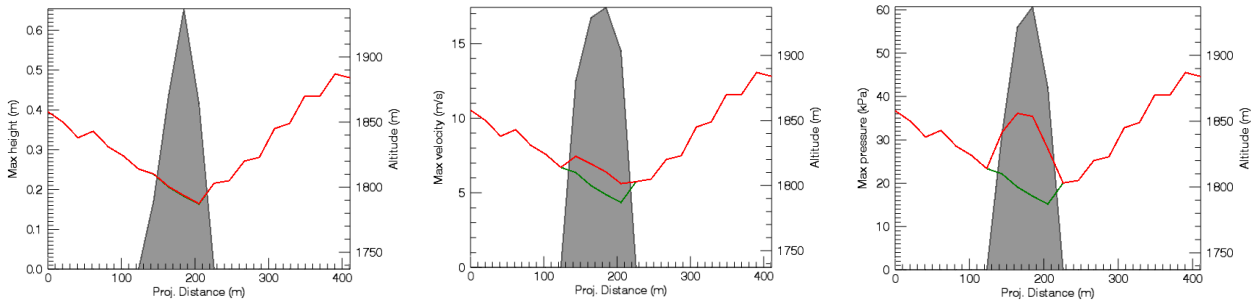
Şekil 3.137 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-1 boyunca değişimi



Şekil 3.138 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-2 boyunca değişimi

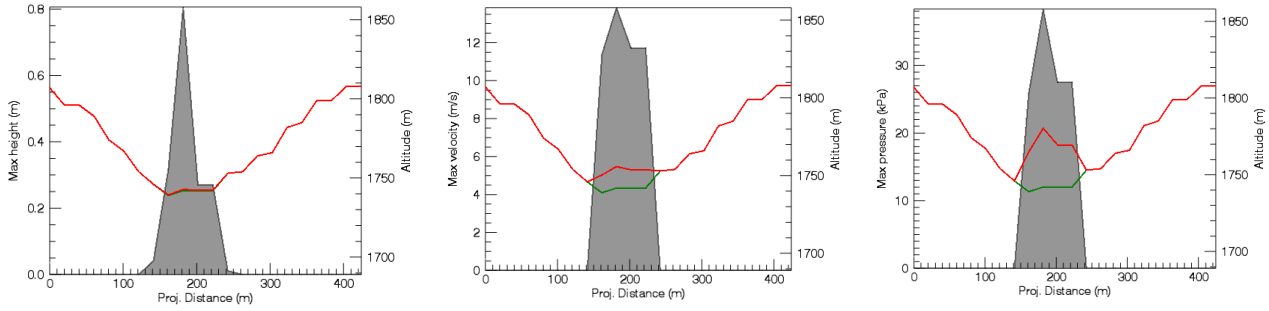


Şekil 3.139 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-3 boyunca değişimi

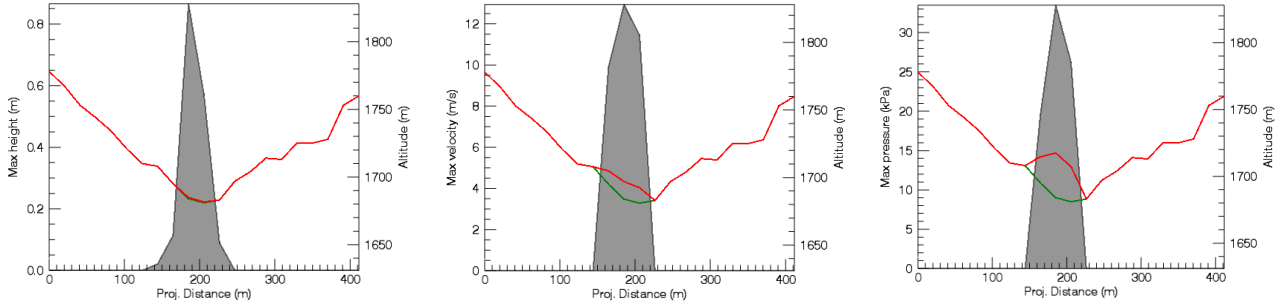


Şekil 3.140 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-4 boyunca değişimi

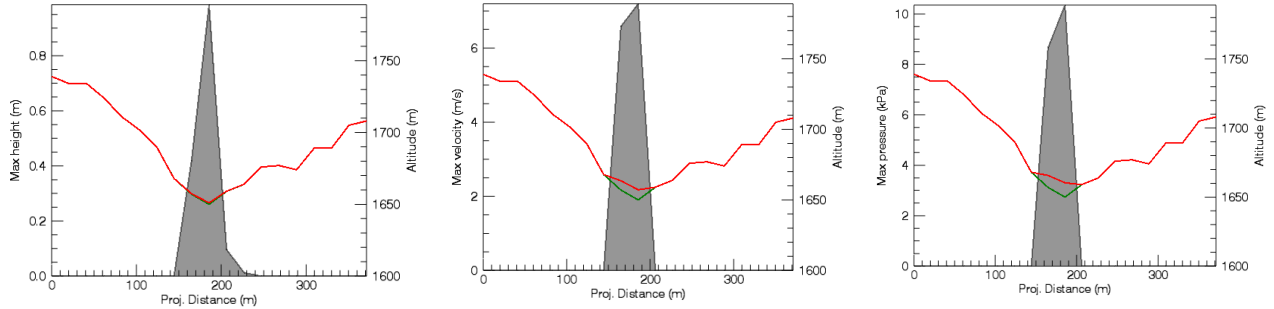
EK-3.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen enkesitler boyunca değişimleri



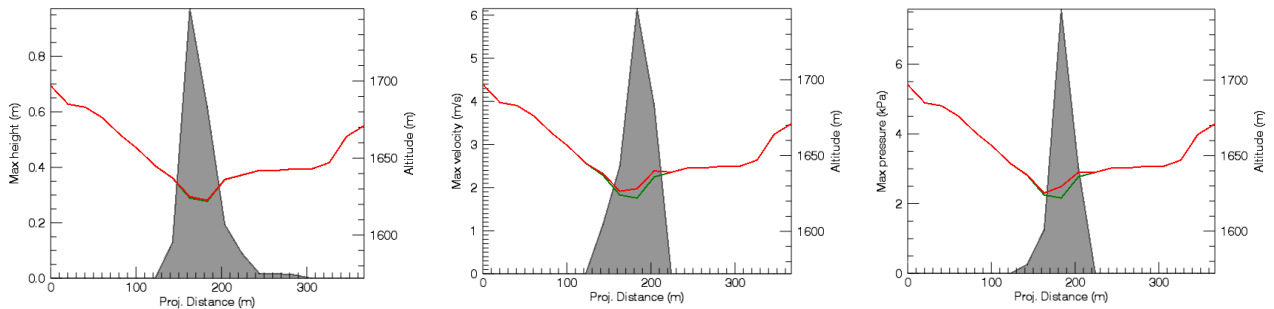
Şekil 3.141 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-5 boyunca değişimi



Şekil 3.142 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-6 boyunca değişimi

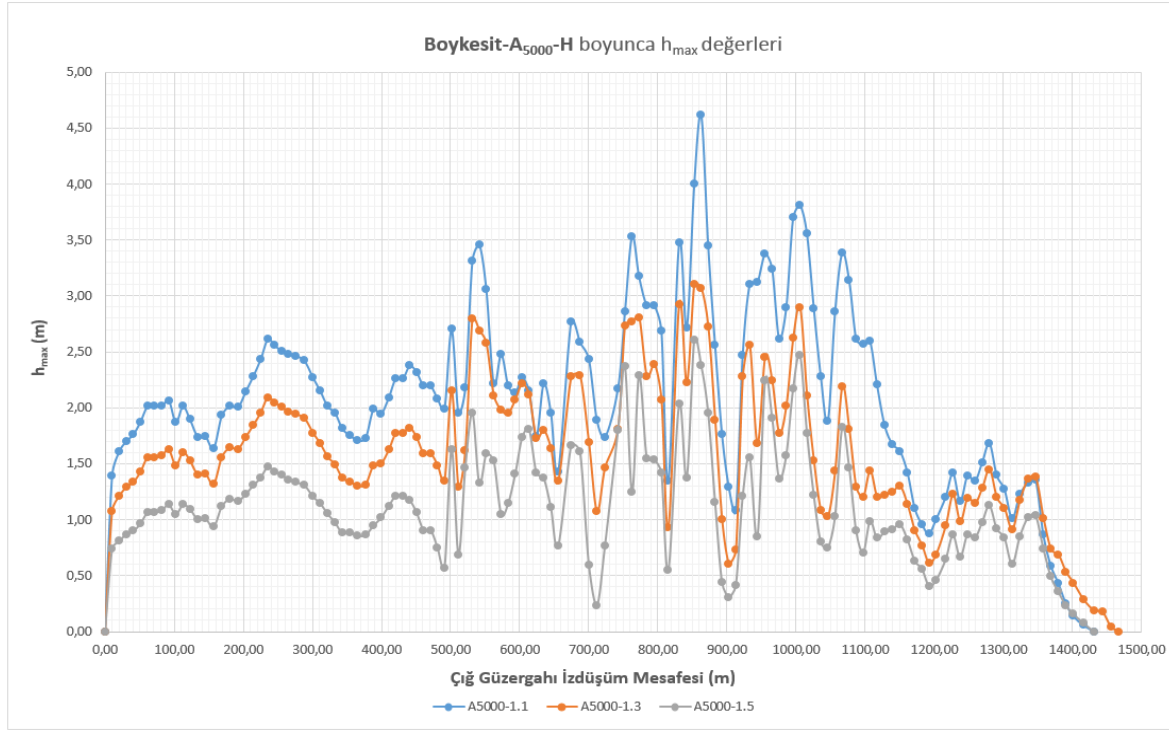


Şekil 3.143 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-7 boyunca değişimi

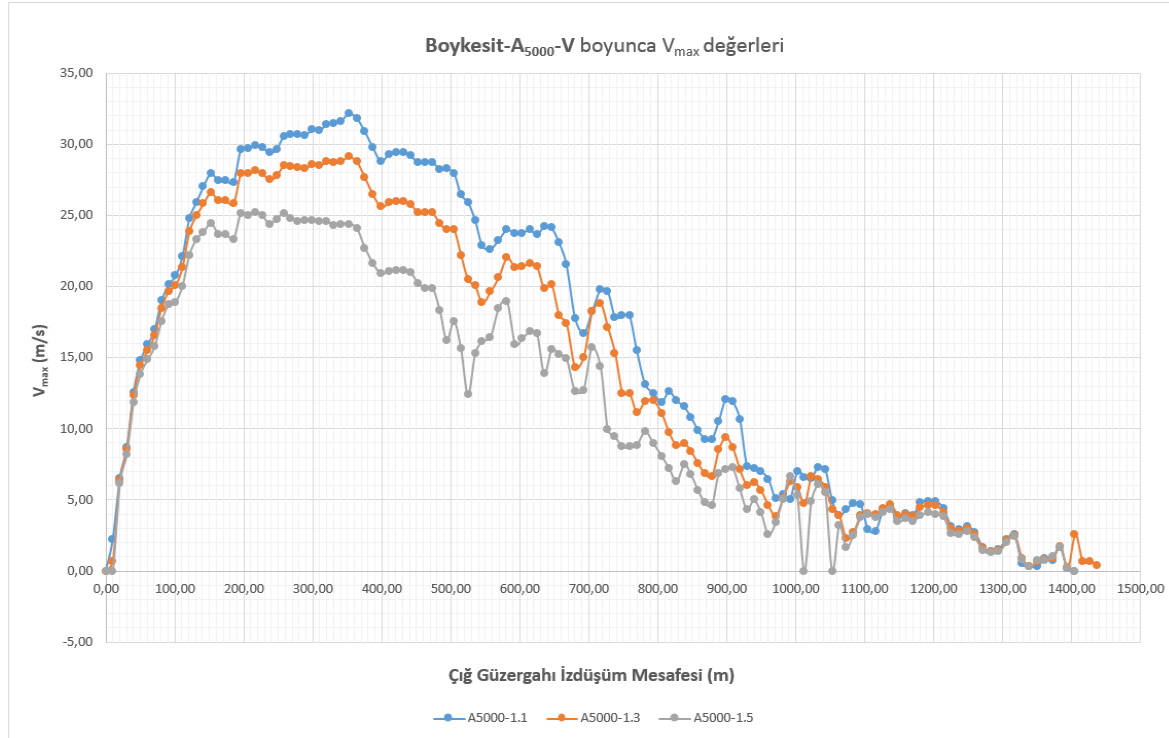


Şekil 3.144 B<sub>25000</sub> -5.5 simülasyonu sonucu elde edilen  $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$  değerlerinin Enkesit-8 boyunca değişimi

EK-4. Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen boykesitler boyunca değişimleri



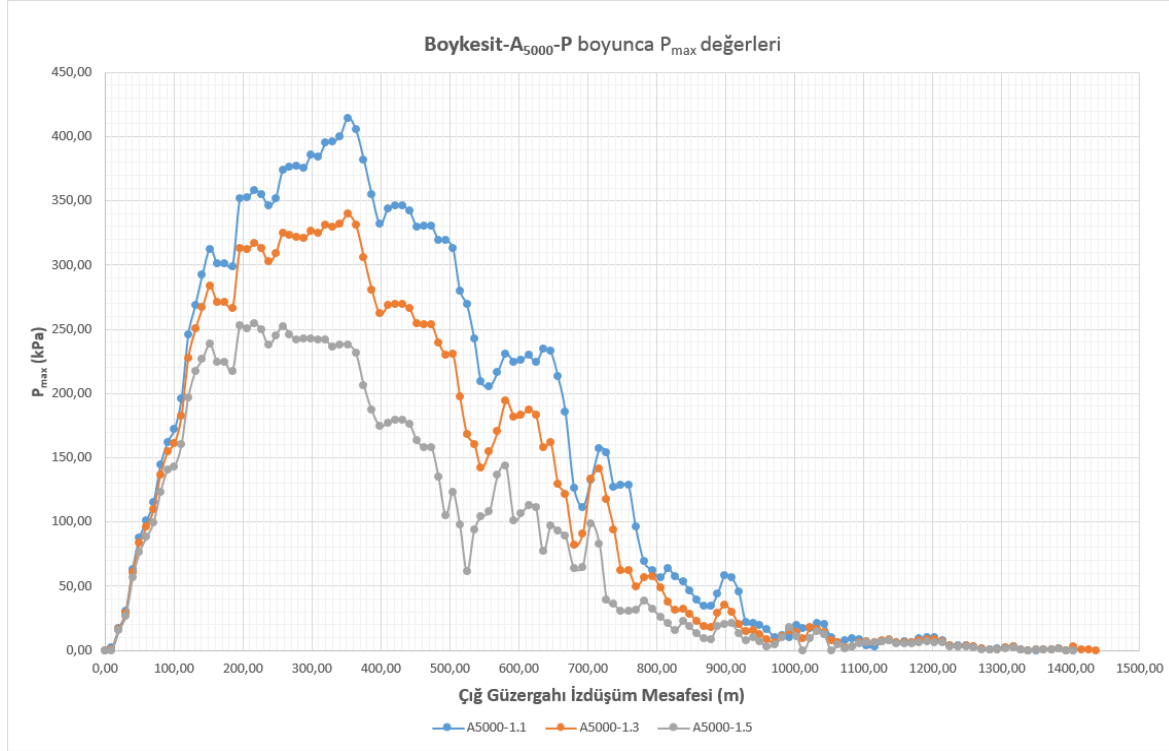
Şekil 4.1  $A_{5000}$  -1.1,  $A_{5000}$  -1.3 ve  $A_{5000}$  -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $h_{\max}$  değerlerinin Boykesit- $A_{5000}$ -H boyunca değişimi



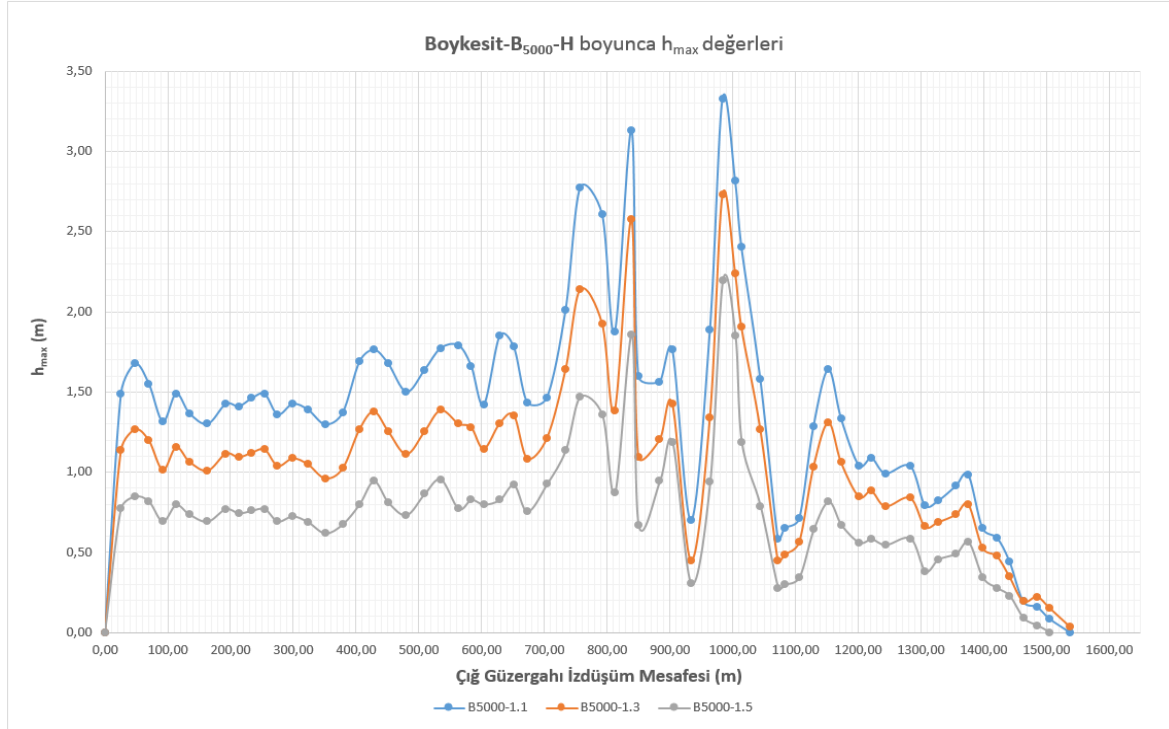
Şekil 4.2  $A_{5000}$  -1.1,  $A_{5000}$  -1.3 ve  $A_{5000}$  -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $V_{\max}$  değerlerinin Boykesit- $A_{5000}$ -V boyunca değişimi



EK-4.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen boykesitler boyunca değişimleri

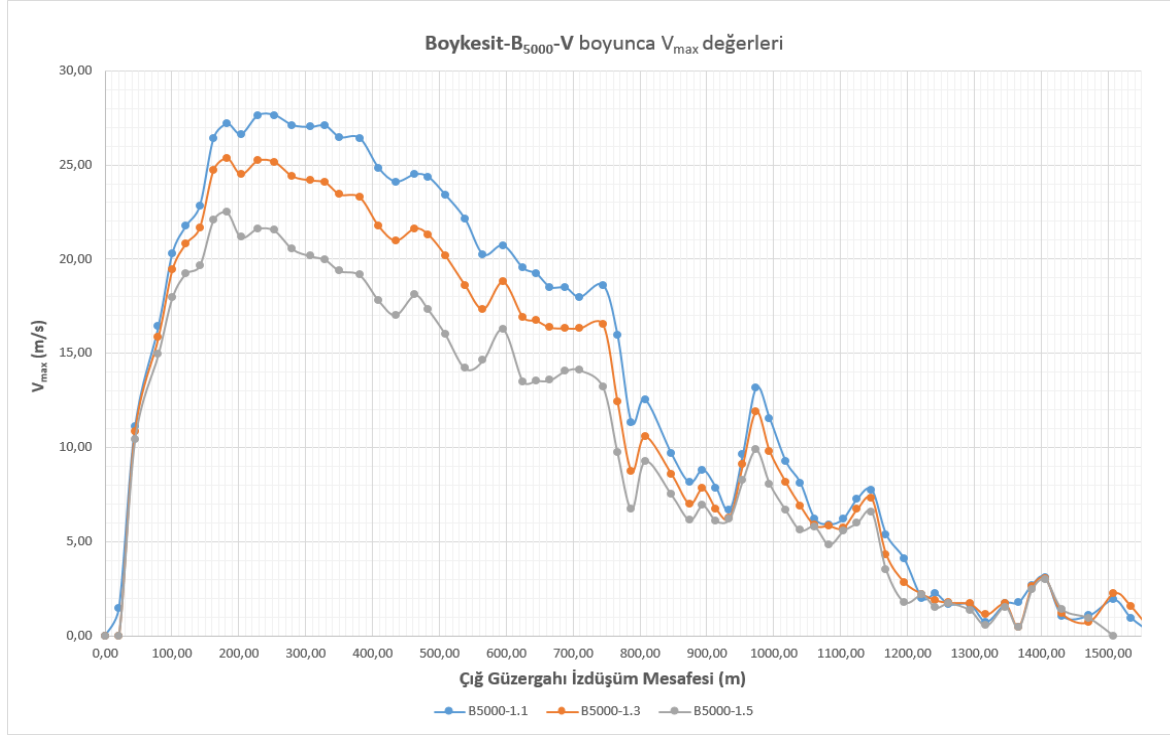


Şekil 4.3 A<sub>5000</sub> -1.1, A<sub>5000</sub> -1.3 ve A<sub>5000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $P_{\max}$  değerlerinin Boykesit-A<sub>5000</sub>-P boyunca değişimi

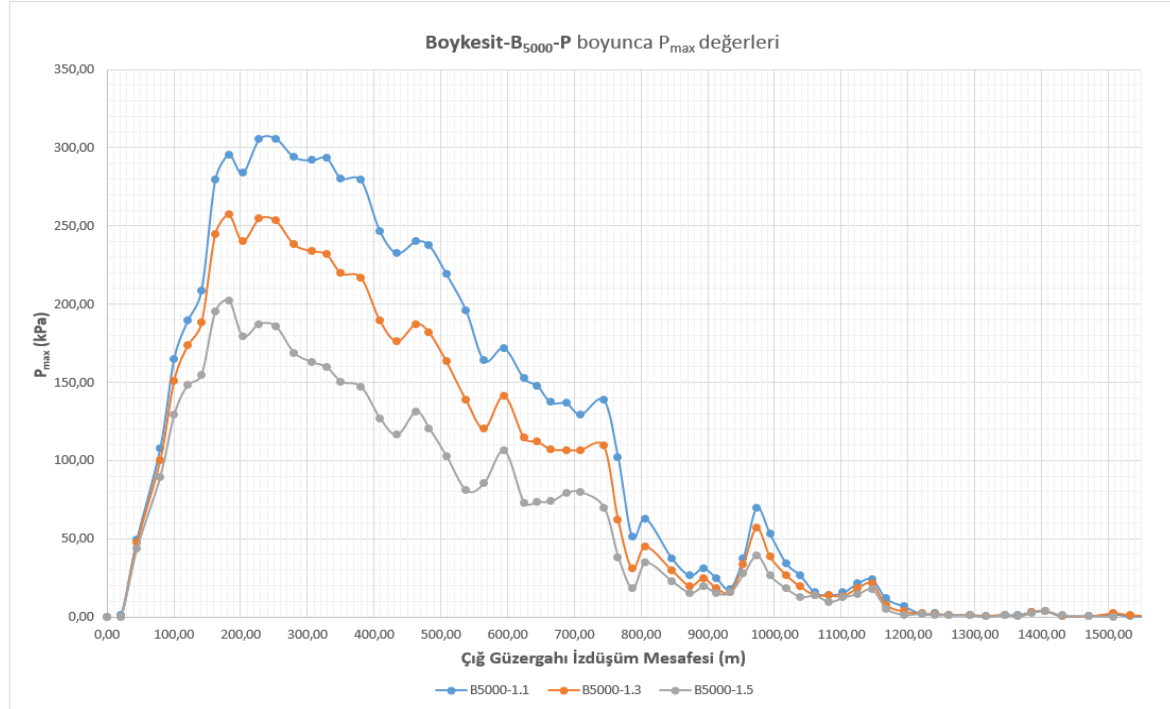


Şekil 4.4 B<sub>5000</sub> -1.1, B<sub>5000</sub> -1.3 ve B<sub>5000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $h_{\max}$  değerlerinin Boykesit-B<sub>5000</sub>-H boyunca değişimi

EK-4.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen boykesitler boyunca değişimleri

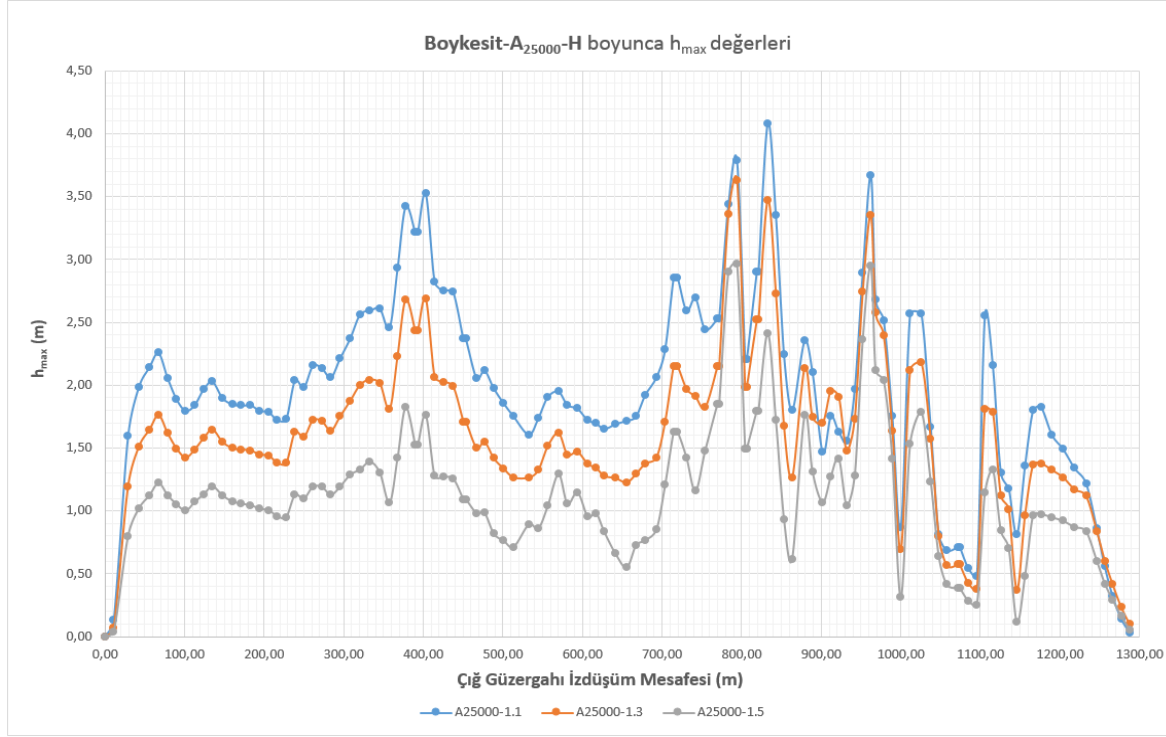


Şekil 4.5 B<sub>5000</sub> -1.1, B<sub>5000</sub> -1.3 ve B<sub>5000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $V_{\max}$  değerlerinin Boykesit-B<sub>5000</sub>-V boyunca değişimi

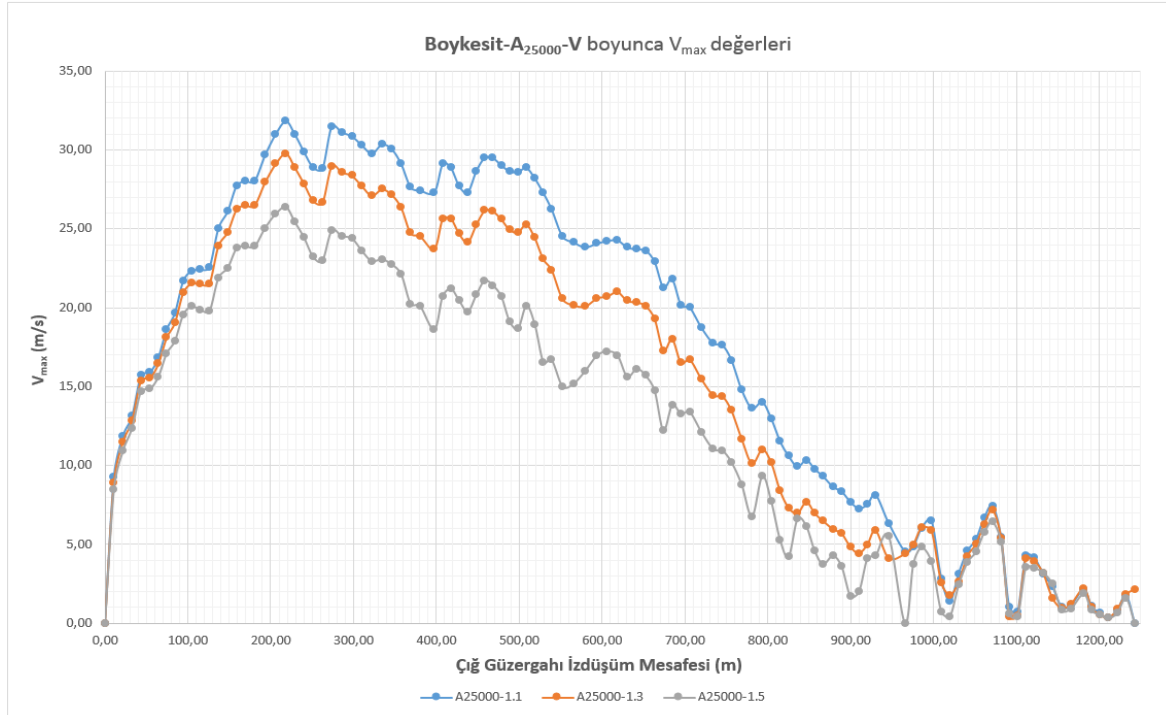


Şekil 4.6 B<sub>5000</sub> -1.1, B<sub>5000</sub> -1.3 ve B<sub>5000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $P_{\max}$  değerlerinin Boykesit-B<sub>5000</sub>-P boyunca değişimi

EK-4.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen boykesitler boyunca değişimleri

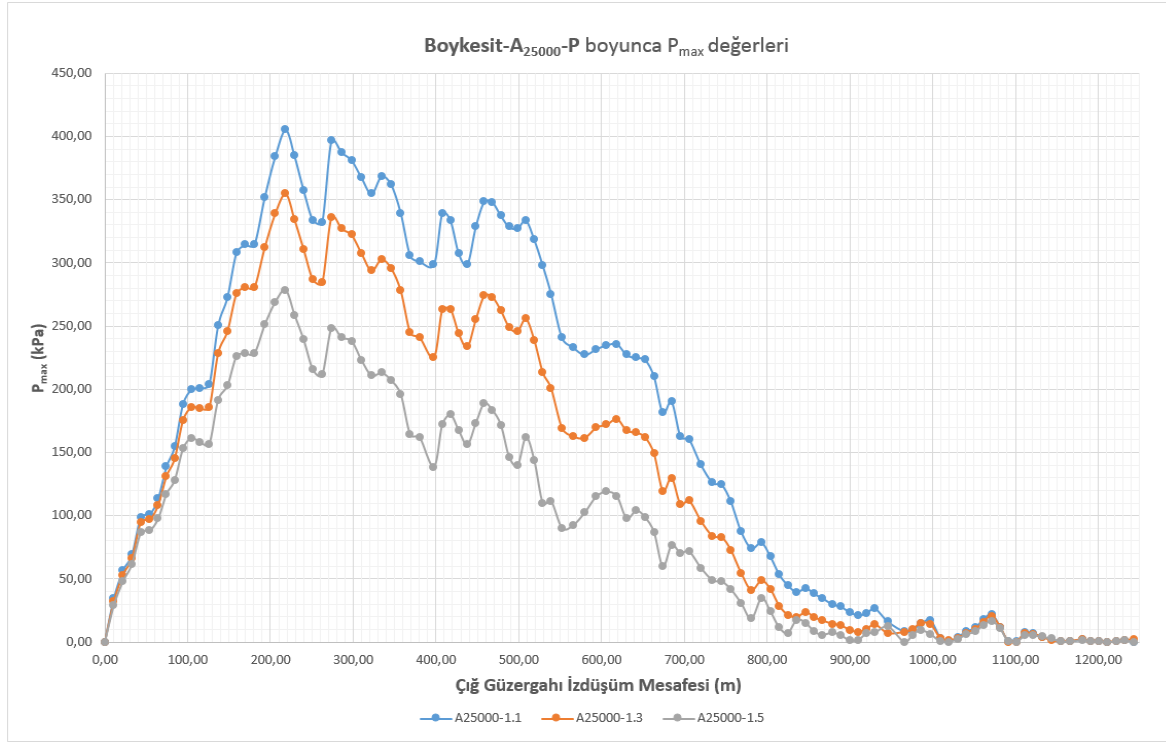


Şekil 4.7 A<sub>25000</sub> -1.1, A<sub>25000</sub> -1.3 ve A<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $h_{\max}$  değerlerinin Boykesit-A<sub>25000</sub>-H boyunca değişimi

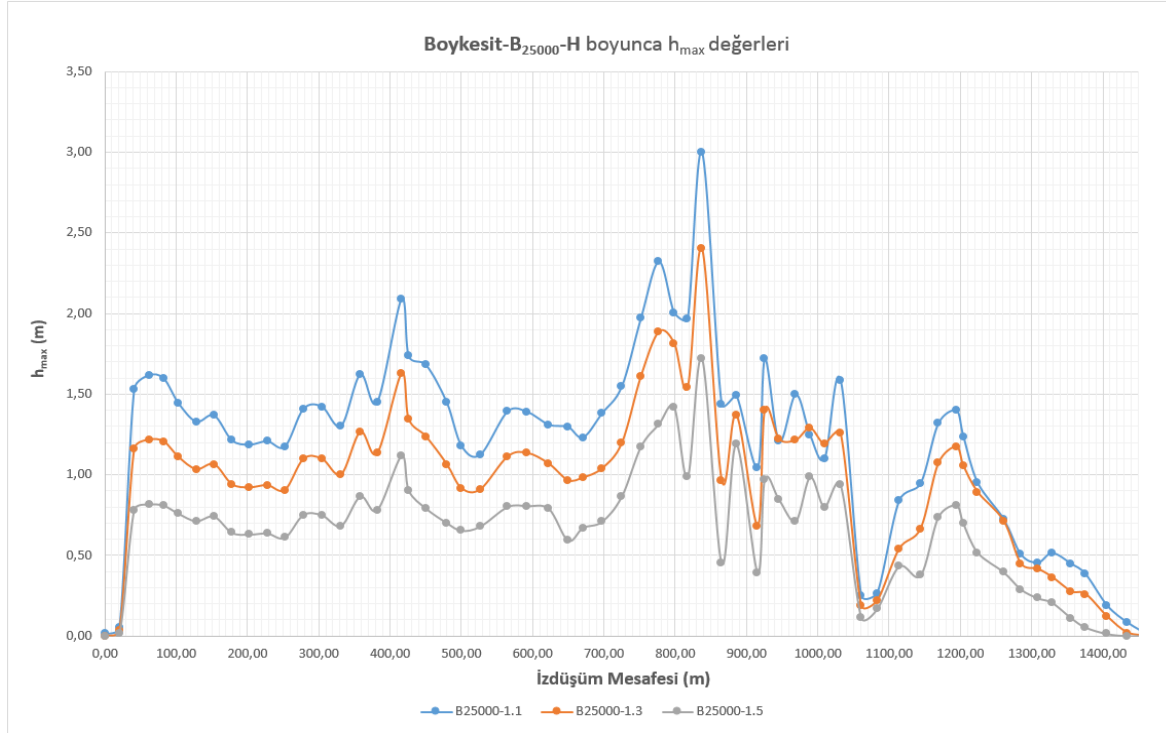


Şekil 4.8 A<sub>25000</sub> -1.1, A<sub>25000</sub> -1.3 ve A<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $V_{\max}$  değerlerinin Boykesit-A<sub>25000</sub>-V boyunca değişimi

EK-4.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen boykesitler boyunca değişimleri

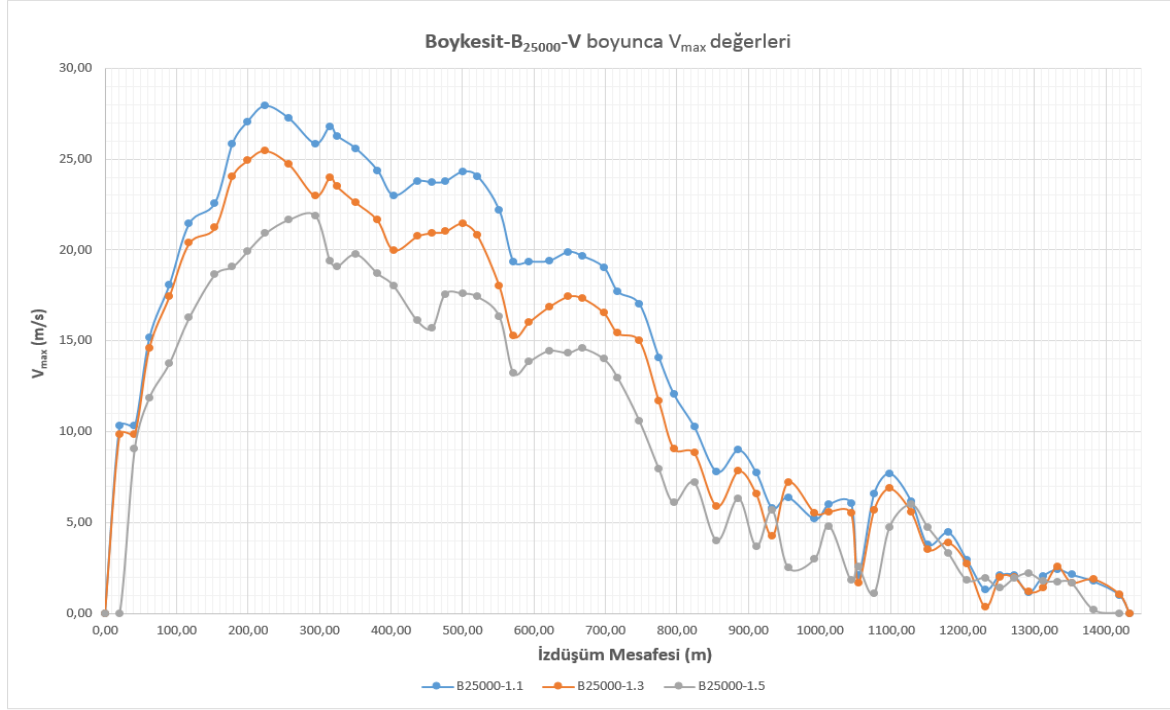


Şekil 4.9 A<sub>25000</sub> -1.1, A<sub>25000</sub> -1.3 ve A<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $P_{\max}$  değerlerinin Boykesit-A<sub>25000</sub>-P boyunca değişimi

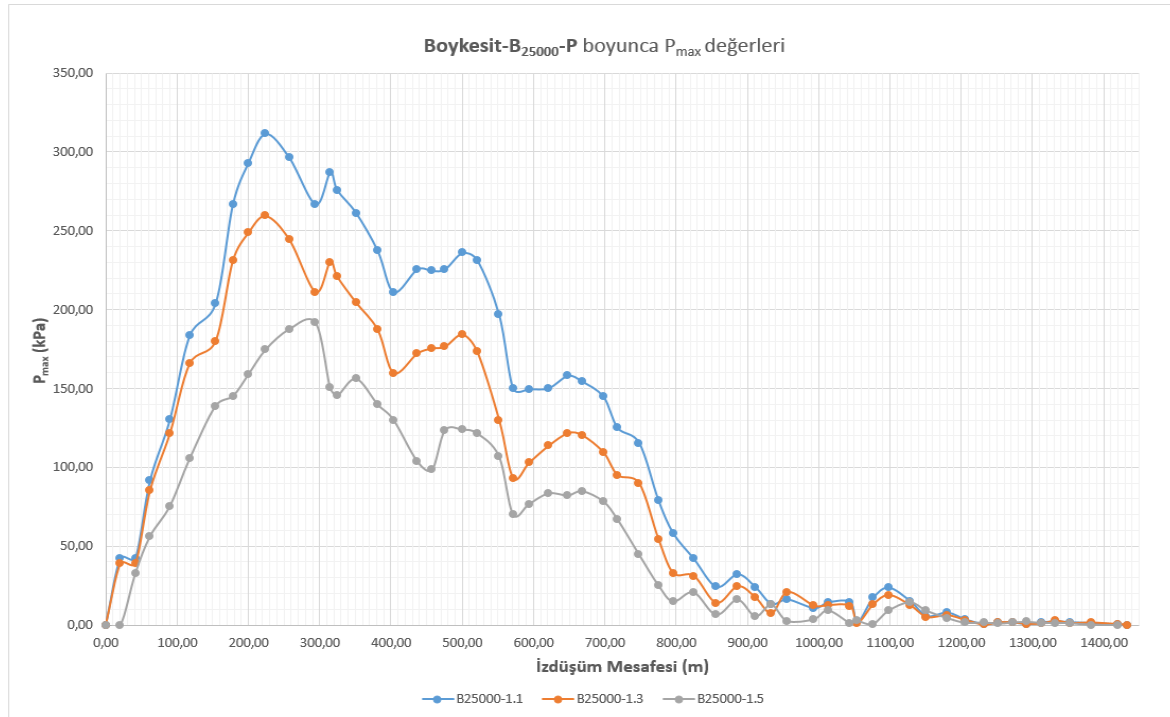


Şekil 4.10 B<sub>25000</sub> -1.1, B<sub>25000</sub> -1.3 ve B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $h_{\max}$  değerlerinin Boykesit-B<sub>25000</sub>-H boyunca değişimi

EK-4.(devam) Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum değerlerin ( $h_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $P_{\max}$ ) seçilen boykesitler boyunca değişimleri



Şekil 4.11 B<sub>25000</sub> -1.1, B<sub>25000</sub> -1.3 ve B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $V_{\max}$  değerlerinin Boykesit-B<sub>25000</sub>-V boyunca değişimi



Şekil 4.12 B<sub>25000</sub> -1.1, B<sub>25000</sub> -1.3 ve B<sub>25000</sub> -1.5 simülasyonları sonucu elde edilen  $P_{\max}$  değerlerinin Boykesit-B<sub>25000</sub>-P boyunca değişimi

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİR, Erhan  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 29.11.1975, Lübeck/ALMANYA  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (505) 740 04 28  
 e-posta : demir\_erhan@yahoo.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                           | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|-----------------------------------------|------------------|
| Doktora       | Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği | Devam Ediyor     |
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği | 2005             |
| Lisans        | ODTÜ / İnşaat Mühendisliği              | 2001             |

### İş Deneyimi

| Yıl                       | Yer                                                                  | Görev                              |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Eylül 2015 – Devam ediyor | DSİ Genel Müdürlüğü - Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı | Daire Başkan Yardımcısı            |
| Ağustos 2015 – Mayıs 2013 | DSİ Genel Müdürlüğü - İçmesuyu Dairesi Başkanlığı                    | Daire Başkan Yardımcısı            |
| Haziran 2012 – Nisan 2013 | DSİ Genel Müdürlüğü – Hidroelektrik Enerji Dairesi Başkanlığı        | Şube Müdürü                        |
| Mayıs 2012 – Haziran 2006 | DSİ Genel Müdürlüğü - Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı | Büyük Su İşleri Planlama Mühendisi |
| Mayıs 2006 – Aralık 2005  | 35. Mühimmat Bölük Komutanlığı - Muş                                 | Zorunlu Askerlik Hizmeti           |
| Kasım 2005 – Şubat 2004   | DSİ 23. Bölge (Kastamonu) Müdürlüğü                                  | Su İşleri Planlama Mühendisi       |
| Ocak 2004 – Eylül 2001    | ARISU Müh. Müş. Ltd. Şti.                                            | Su İşleri Proje Mühendisi          |

## Yabancı Dil

İngilizce (C1), Almanca (A2)

## Yayınlar

- ÖZDEMİR, O. N. and DEMİR, E. (2007). Experimental study of chlorine bulk decay in water supply pipes. *Journal of Hyraulic Research*. 45(6), 811-817.
- ÇELİK, H. E., SELEK, B., DAĞDEVİREN, M., DEMİR, E. ve BİROĞLU, İ. (2017). Yukarı Havza Islah Önlemleri Kapsamında Yeni Bir Uygulama; Süzücü (Geçirgen) Tersip Bentleri. *DSİ Teknik Bülteni*, Ankara.
- DEMİR, E. and BİROĞLU, İ. (2018). *Sedimentation Problem in Dam Reservoirs; Hasanlar Dam Reservoir as an Example*. 5<sup>th</sup> International Symposium on Dam Safety, İstanbul.

## Katılım Sağlanan Kurslar, Çalıştaylar ve Katkı Konulan Sempozyumlar, Eğitimler

- Introduction to ArcGIS I and II (13 – 17 Kasım 2006) - Kursiyer
- 3D Analyst & Spatial Analyst & Model Builder (4 – 8 Aralık 2006) - Kursiyer
- Management Workshop in Integrated Water Resources Management – The Singapore Experience (15- 21 Ocak 2008) - Kursiyer
- Advanced International Training Programme in Regional Development in the Euphrates – Tigris Region (17 – 28 Ocak 2010 Suriye’de, 16 – 21 Mayıs 2010 İsveç’te) - Kursiyer
- DSİ Genel Müdürlüğü, İçmesuyu – Atıksu Projeleri hizmet içi eğitimi (15 Aralık 2014 20 Mart 2015) – Eğitim koordinatörü ve öğretici
- DSİ Genel Müdürlüğü, Su Kaynakları Planlaması hizmet içi eğitimi (18 Ocak – 13 Mayıs 2016) – Eğitim koordinatörü ve öğretici
- Ulusal Heyelan Sempozyumu (27 – 29 Nisan 2016) – Katılımcı
- 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu (23 – 25 Kasım 2016) – Koordinatör

## DİZİN

### **A**

Alfa – Beta Akış Modeli · 60  
AVAL-1D Modeli · 56  
Arazi Faktörü · 16  
Akma Bölgesi · 28

### **B**

Blok Kar Çıgı · 12  
Başlangıç Bölgesi · 26  
Bakı · 100

### **Ç**

Çıg Model Çalışmaları · 49  
Çıgın Mekanığı · 36  
Çıg Patikası · 25  
Çıgların Sınıflandırılması · 7  
Çıg Kopma Bölgesi · 76

### **D**

Durma Bölgesi · 29

### **E**

Eğrilik · 70  
Eğrisellik · 101

### **G**

Gevşek Kar Çıgları · 10  
Global Parametreler · 68

### **H**

Hesap Etki Alanı · 74

### **İ**

İstatistiksel Model Çalışmaları · 60  
İzmir Bozdağ · 84

### **K**

Karışık Kar Çıgı · 13  
Kar Stratigrafisi · 22  
Kar Yoğunluğu · 34  
Kohezyon · 69  
KGİ · 87  
Kütle Merkezi Modeli · 143

### **N**

Nümerik Düzensizlikler · 76

### **O**

Orman Örtü Bilgisi · 74  
OMGİ · 87

### **P**

Pilot Alan Seçimi · 83

### **R**

RAMMS Programı · 65  
RAMMS Modeli · 57  
Rüzgar · 19

### **S**

SamosAT Modeli · 59  
Sıcaklık · 20  
Sürtünme Parametreleri · 31  
SH Modeli · 40

### **T**

Tabaka Çıgı · 10  
Tekerrür Periyodu · 30

### **V**

Voellmy – Salm Modeli · 50

### **Y**

Yağış · 17  
Yamaç Eğimi · 98  
Yükseklik · 102  
Yamaç Pürüzlülüğü · 103





*GAZİ GELECEKTİR..*