



KAR ÇIĞI DİNAMİK MODEL YAZILIMI

Hakan ÇIRAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİSAN 2024

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.

Hakan ÇIRAK

02/04/2024

KAR ÇIĞI DİNAMİK MODEL YAZILIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hakan ÇIRAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2024

ÖZET

Bir doğa olayı olarak tariflenebilecek kar çığları, yüksek dağlık bölgelerde yaşamı ve çevreyi tehdit etmekte, etkileri ile bazen afet boyutunda sonuçlara neden olmaktadır. Çığlar, Avrupa Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Kanada, Japonya, Hindistan ve Şili gibi dünyanın birçok ülkesinde görülmekte ve binlerce insanın hayatını kaybetmesine sebep olmaktadır. Türkiye’de çığ ile ilgili yapılan araştırmalar ve kurumsal çalışmalar, konu ile ilgili deneyimli ülkelerin geliştirmiş olduğu uygulamalara yoğunlaşarak devam etmektedir. Bu nedenle ülkemize ait henüz tam olarak sürdürülebilir çığ araştırma ve önleme politikaları geliştirildiği söylenemez. Teknolojik gelişimle birlikte birçok mühendislik uygulamalarında olduğu gibi çığ araştırmalarında da bilgisayar programları önemli bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle özellikle çığ önlem konusunda yapılan planlama ve tasarım çalışmalarında yabancı kaynaklı yazılımlar yerine yerli yazılımların hazırlanması ve kullanımı sürdürülebilir çığ afet yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda birçok açıdan çığ çalışmalarına katkı sağlayacağı düşüncesiyle çığ olaylarının teknik açıdan incelenmesi, simülasyonu ve çığın durma mesafesinin tespitini amaçlayan bir yazılım geliştirilmiştir. Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında üretilen “Gazi-Çığ” isimli yazılım, çığın yamaç aşağı hareketi doğrultusunda, literatürde Kütle Merkezi Modeli ya da PCM olarak bilinen bir boyutlu çığ matematiksel modelini uygulamaktadır. Topografik ve fiziksel girdi verileri ile çalışan programa ait çıktılar, çığa ait önemli fiziksel sonuçları; çığ kütlesinin hızı, çığın basıncı ve durma mesafesi bilgilerini sağlamaktadır. “Gazi-Çığ” programının ürettiği sonuçlar, konu ile ilgili yaygın kullanıma sahip İsviçre WSL Enstitüsü tarafından geliştirilen RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) ve AVAL-1D programlarının çıktılarıyla karşılaştırılmaktadır. Programın literatür sonuçları ile uyumlu sonuçlar üretmesi ve geliştirilmeye müsait olması ileride kullanım durumu açısından ümit vericidir.

Bilim Kodu : 91120
Anahtar Kelimeler : Çığ, Gazi-Çığ, dinamik model, yazılım
Sayfa Adedi : 121
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

A COMPUTER SOFTWARE FOR SNOW AVALANCHE MOTION

(M. Sc. Thesis)

Hakan ÇIRAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2024

ABSTRACT

Snow avalanche which can be defined being a natural phenomenon, threatening life and environment in steep mountain areas, sometimes causes catastrophic results with its effects. Snow avalanches occur in many mountainous countries of the World such as European Countries, the United States of America, Russia, Canada, Japan, India and Chile. This natural hazard may cause death of thousands of people. Research and institutional studies on avalanches in Turkey continue, focusing on practices developed by experienced countries on the subject. For this reason, it cannot be said that fully sustainable avalanche research strategy and prevention policies have been developed in our country yet. With technological development, computer programs play an important role in avalanche research, as applied in many engineering problem solutions. For this reason, the preparation and use of domestic software instead of foreign-sourced software, especially in planning and design studies on avalanche prevention, is very important for sustainable avalanche disaster management. In this context, with the idea that it will contribute to avalanche studies in many aspects, a software aimed at the technical examination of avalanche events, simulation and determination of the runout distance of the snow avalanche has been developed. The software named "Gazi-Çığ", produced within the scope of the master's thesis study, applies the one-dimensional snow avalanche mathematical model, known as Mass Centered Model or PCM in the literature, in the direction of the downhill movement of the snow avalanche. The outputs of the program running with topographic and physical input data include important physical results of the avalanche are the velocity of the avalanche mass, avalanche pressure and runout distance. The results produced by the "Gazi-Çığ" program is compared with the outputs of the RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) and AVAL-1D softwares developed by the Swiss WSL Institute, which is widely used programs on the subject. The results consistent with the literature are encouraging for the program to be used in the future and also availability for development.

Science Code : 91120

Key Words : Snow avalanche, Gazi-Çığ, dynamic model, software

Page Number : 121

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve lisans eğitim süreci boyunca desteğini, tecrübesini esirgemeyen ve zor bir süreç geçirdiğim deprem zamanında manevi desteğini fazlasıyla gösteren, çalışmanın temelini oluşturan danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e, teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışma da dahil tüm hayatım boyunca bütün imkanlarını seferber ederek her adımında yanımda olan, emeklerini ömrüm boyunca ödeyemeyeceğim annem Süheyla ÇIRAK'a, babam Mehmet Emin ÇIRAK'a ve kardeşim Ahmet Yusuf ÇIRAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇIĞ MODELLERİ VE GELİŞİMLERİ.....	5
3. METODOLOJİ	13
3.1. Voellmy (1955) Modeli.....	13
3.2. Voellmy-Salm Modeli.....	14
3.3. Cheng-Perla-McClung (Kütle-Merkezi) Modeli.....	18
3.3.1. Voellmy-Salm modeli ile kütle merkezi modelinin karşılaştırılması	22
3.4. Sayısal Tabanlı Yeni Nesil Modeller	24
3.4.1. RAMMS programı	24
3.4.2. AVAL-1D programı.....	25
3.4.3. SamosAT programı	26
3.5. Çığ Koruma Yapısı	27
3.5.1. Çığ koruma yapılarının amaç ve fonksiyonu	28
3.5.2. Çığ koruma yapılarının genel düzeni	29
3.5.3. Çığ koruma yapıları tasarım hesabı.....	30
4. GAZİ ÇIĞ YAZILIMININ TANITILMASI.....	35

Sayfa

4.1. Gazi Çığ Yazılımın Kurulması.....	37
4.2. Gazi Çığ Yazılımın Çalıştırılması.....	39
4.3. Gazi Çığ Yazılımın Kullanılması.....	42
4.3.1. Excel veri çek butonu kullanılması.....	42
4.3.2. Koordinat alma panelinin kullanılması.....	44
4.3.3. Arazi enkesiti butonunun kullanılması.....	48
4.3.4. Uzunluk hesap ve eğim hesap butonunun kullanılması.....	49
4.3.5. Hız hesap butonunun kullanılması.....	50
4.3.6. Basınç hesap butonunun kullanılması.....	53
4.3.7. Durma mesafesi, seçilen hat uzunluğu ve temizle butonlarının kullanılması.....	54
4.3.8. Koruma Yapısı Tasarımı Panelinin Kullanılması.....	55
4.3.9. Kar Yüksekliği Hesaplama Panelinin Kullanılması.....	59
4.3.10. Program Kullanım Dilinin Değiştirilmesi.....	62
5. BULGULAR.....	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Voellmy-Salm modelinde kullanılan sürtünme parametreleri	15
Çizelge 3.2. Çığ Koruma Yapılarının Genel Düzenlerinin Avantaj ve Dezavantajları ..	30
Çizelge 4.1. Gazi Çığ yazılımının akış şeması	36
Çizelge 4.2. Üç günde düşebilecek kar derinliği	59
Çizelge 5.1. Kocadere Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 11 Nokta (Tip-1)	64
Çizelge 5.2. Tip -1 için M/D değeri 1000, Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar	65
Çizelge 5.3. Tip -1 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar	66
Çizelge 5.4. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar	67
Çizelge 5.5. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar	68
Çizelge 5.6. Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 40 Nokta (Tip-2).....	70
Çizelge 5.7. Tip -2 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar	71
Çizelge 5.8. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar	73
Çizelge 5.9. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar	74
Çizelge 5.10. Tip -2 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar	76
Çizelge 5.11. Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 81 Nokta (Tip-3).....	78
Çizelge 5.12. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar	80
Çizelge 5.13. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar	83
Çizelge 5.14. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar	86
Çizelge 5.15. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar	89
Çizelge 5.16. Kocadere Çığ hattı için Gazi Çığ Program çıktıları.....	91
Çizelge 5.17. Demir (2018)'e ait Bozdağ, Kocadere Çığ hattı için RAMMS program çıktıları, maksimum hızlar (m/s)	94
Çizelge 5.18. Demir (2018)'e ait Bozdağ, Kocadere Çığ hattı için RAMMS program çıktıları, maksimum basınçlar (kPa)	95

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.19. Çığ basıncı-potansiyel hasar ilişkisi	96
Çizelge 5.20. Uzungöl –Dorinori (7 nolu) çığ hattı koordinatları	97
Çizelge 5.21. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-1 çıktıları	99
Çizelge 5.22. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-2 çıktıları	101
Çizelge 5.23. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-3 çıktıları	103
Çizelge 5.24. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-4 çıktıları	105
Çizelge 5.25. Dorinori uygulama alanı için Gazi Çığ Program Çıktıları.....	106
Çizelge 5.26. AVAL-1D Programı Çıktısı	107
Çizelge 5.27. Dorinori çığ güzergahı için AVAL-1D sonuçları	108

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çığ sayısal modelleri sınıflandırması	6
Şekil 3.1. Kuru sürtünme faktörü (μ) ve türbülans kaynaklı sürtünme faktörü (ξ) değerlerine göre farklı çığ güzergâh uzunlukları	15
Şekil 3.2. Voellmy-Salm modeli genel gösterimi	16
Şekil 3.3. Çığın hızlanmasına karşı koyan kuvvetler	19
Şekil 3.4. Bir çığ güzergâhı boy kesitindeki temsili ardışık bölümler	21
Şekil 5.1. Tip -1 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	66
Şekil 5.2. Tip -1 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için hız değişimi.....	67
Şekil 5.3. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	68
Şekil 5.4. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	69
Şekil 5.5. Tip -2 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	72
Şekil 5.6. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	74
Şekil 5.7. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	75
Şekil 5.8. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	77
Şekil 5.9. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	82
Şekil 5.10. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	85
Şekil 5.11. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	88
Şekil 5.12. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	91
Şekil 5.13. Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 Hatlarının Sürtünme Parametrelerine Göre Hız Değişimi	92
Şekil 5.14. M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	100
Şekil 5.15. M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik	102
Şekil 5.16. M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	104
Şekil 5.17. M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik	106

Şekil	Sayfa
Şekil 5.18. Tip-1 Kocadere Çığ Hattı İçin Gazi Çığ model sonuçları	109
Şekil 5.19. Tip-2 Kocadere Çığ Hattı İçin Gazi Çığ model sonuçları	109
Şekil 5.20. Tip-3 Kocadere Çığ Hattı İçin Gazi Çığ model sonuçları	110
Şekil 5.21. Kocadere çığ hattı için RAMMS program sonucu	110
Şekil 5.22. AVAL 1-D ve Gazi Çığ Çıktılarının Karşılaştırılması	111



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. RAMMS tarafından üretilen örnek bir simülasyon sonucu	25
Resim 3.2. AVAL-1D simülasyon örneği	26
Resim 3.3. SAMOS-AT modelinde varsayılan kuru kar çığının dikey tabaka yapısı	27
Resim 3.4. Sürekli Çığ Koruma Yapıları	29
Resim 3.5. Kesikli Çığ Koruma Yapıları	29
Resim 3.6. Şaşırtmalı koruma yapıları	29
Resim 3.7. Çığ Koruma Yapısı Görünüm	322
Resim 3.8. Mesafe faktörü f_L 'nin tespiti	33
Resim 4.1. Bilgisayar masaüstünde bulunan Gazi_Cig klasörü ve içeriği	37
Resim 4.2. MyAppInstaller_mcr.exe dosyasının kurulum ekranı	38
Resim 4.3. MyAppInstaller_mcr.exe dosyasının kurulum klasörü seçimi	38
Resim 4.4. Kurulum için Lisans anlaşması	39
Resim 4.5. Gazi Çığ exe dosyasının çalıştırılması	40
Resim 4.6. Gazi Çığ yazılımı logosu	40
Resim 4.7. Gazi Çığ yazılımının genel görünümü	41
Resim 4.8. Excelden Veri Çek butonu	42
Resim 4.9. Gerekli Excel Dosyasının seçilmesi	43
Resim 4.10. Excelden Veri Çek butonu yardımıyla veri alınması	43
Resim 4.11. Koordinat Alma Paneli genel görünümü	44
Resim 4.12. DEM Verisinin 3 Boyutlu Hale getirilmesi	45
Resim 4.13. Arazi modelinde rahat seçim yapılabilmesi için araçlar	45
Resim 4.14. Koordinat Seç Butonunun Aktif Olması	46
Resim 4.15. Koordinatı Tabloya Gönder Butonunun Aktif Olması	47

Resim	Sayfa
Resim 4.16. Seçilen Koordinatın Tabloya Gönderilmesi	47
Resim 4.17. Seçilen Noktaların Siyah Noktalar Halinde Harita Üzerinde Gösterilmesi	48
Resim 4.18. Çığ Güzergahı Rakım Grafiği.....	49
Resim 4.19. Uzunluk ve Eğim Değerleri	50
Resim 4.20. Katsayılar Paneli.....	50
Resim 4.21. Katsayılar için öneri bölümü	51
Resim 4.22. M/D değeri için öneri.....	51
Resim 4.23. M/D değeri için öneri.....	51
Resim 4.24. M/D değeri için öneri.....	52
Resim 4.25. Sürtünme Katsayısı için Öneri.....	52
Resim 4.26. Sürtünme Katsayısı için Öneri.....	52
Resim 4.27. Hız Değerleri	53
Resim 4.28. Basınç Değerleri	53
Resim 4.29. Basınç Dağılımı Grafiği.....	54
Resim 4.30. Durma Mesafesi Butonu	54
Resim 4.31. Durma Mesafesi Butonu Eksi Değer	55
Resim 4.32. Seçilen Hat Uzunluğu Butonu	55
Resim 4.33. Temizle Butonları	55
Resim 4.34. Koruma Yapısı Tasarımı Paneli Genel Görünümü.....	56
Resim 4.35. Yıllık ekstrem kar verileri.....	57
Resim 4.36. Tasarım yapısının yüksekliğinin yetersiz uyarısı	57
Resim 4.37. Mesafe faktörünün okunabilmesi gereken tablo.....	58
Resim 4.38. Koruma yapısı hesabı bilgi mesajı.....	58
Resim 4.39. Koruma yapısı hesabı bilgi mesajı.....	59

Resim	Sayfa
Resim 4.40. Seçilen noktayı koordinatlarının gelmesi	59
Resim 4.41. Seçilen noktalar arası mesafe değerinin hesaplanması	60
Resim 4.42. Kar derinliklerinin hesaplanması	61
Resim 4.43. Program Dilinin İngilizce Yapılması	62
Resim 5.1. İzmir Bozdağ'a Ait Çığ Hattı	64



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
d_P	Çığ patikası üzerinde P noktasında akım derinliği
D	Yamaçta yüzeye dik ölçülen kar örtüsü derinliği
$\dot{D}$	Kinetik enerjideki dağılma
g, g_x, g_y ve g_z	Yerçekimi ivmesi ve bileşenleri
h	Çığ hareketindeki kar yüksekliği
H	Yamaçta düşey yönde ölçülen kar derinliği
H_{ext}	Ölçülen en yüksek kar derinliği
H_K	Çığ önlem yapısı yüksekliği
$k_{a/p}$	Aktif veya pasif zemin basınç katsayısı
L	Çığ önlem yapıları arasındaki planlama mesafesi
M	Hareket halindeki çığ kütlesi
n_{U_x} ve n_{U_y}	Birim vektör bileşenleri
N	Kayma faktörü
$\dot{P}$	Toplam kinetik enerjinin üretimi
$\dot{Q}$	Kar sürüklenme oranı
r	Yerel eğrisellik yarıçapı
R	Çığ hareketine karşı sürünme dirençlerinin toplamı
R_K	Rastgele kinetik enerjisinin derinlik ortalaması
s	Kütle merkezinin güzergâh üzerindeki konumu
S	Çığın durma mesafesi

Simgeler**Açıklamalar** S_{fx} ve S_{fy}

Sürtünme direnci

 t

Süre

 U_x ve U_y Çığın sırasıyla x ve y yönündeki hız bileşenleri v

Çığ kütlesi hızı

 v_P

P noktasındaki çığ hızı

 v_{max}

Çığın ulaşabileceği en yüksek hız

 μ

Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı

 ξ

Türbülanslı akım ile ilişkili sürtünme katsayısı

 ρ

Kar yoğunluğu

 ρ_L

Havanın yoğunluğu

 τ_s

Akım esnasındaki direnç

 ψ

Arazi yamaç eğimi

 ψ_s

Durma bölgesinde ortalama eğim

Kısaltmalar**Açıklamalar****AVAL-1D**

Numerical calculations of snow avalanches

CBS

Coğrafi Bilgi Sistemleri

DEM

Digital Elevation Model

ELBA+

Energy Line Based Avalanche

GUI

Graphical User Interface

RAMMS

Rapid Mass Movement Simulation

SamosAT

Snow Avalanche Modelling and Simulation

SLF

Institut für Schnee und Lawinenforschung

SYM

Sayısal Yükseklik Modeli

VS

Voellmy-Salm Modeli

1. GİRİŞ

Çığlar, yüksek rakımlarda birikmiş kar tabakalarının doğal veya insan kaynaklı tetikleme ile başlayan yamaç aşağı hareket ederek bazen etkileri bakımından afete dönüşebilen doğa olaylarıdır.

Çığlar, Avrupa Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Kanada, Japonya, Hindistan gibi dünyanın birçok farklı ülkesinde görülmekte ve binlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olmaktadır. Bunlar arasında 2010 ve 2012 yıllarında Kaşmir Bölgesi, Hindistan ve Pakistan sınırında meydana gelen çok sayıdaki kar çığları, binlerce insanın hayatını kaybetmesi ile afetlere neden olmuştur. Yine bölgeye yakın ülkelerden 2015 yılında Nepal'de meydana gelen deprem ve ardından oluşan kar çığı afet boyutunda sonuçlar üretmiştir. “Nepal’de 7,9’luk deprem Everest Dağı’nda da çığı tetiklemiş, dağcıların ana kampı art arda gelen dev kar kütlelerinin altında kalmıştır”. Orta Avrupa ülkelerinden özellikle Avusturya ve İsviçre Alplerinde 1999 kış mevsiminde yaşanan büyük çığların incelendiği Wilhelm, C., Wiesinger, T., Bründl, Michael., ve Ammann, W. J. (2000) tarafından yapılan çalışmada, çığa karşı önlem konusunda oldukça deneyimli ülkelerde dahi olayın afet boyutunda yaşanabileceği bir kez daha hatırlatılmıştır.

Türkiye, çığı afet boyutunda yaşayan ülkelerdendir. Çığlar açısından en çok tehdit altındaki alanlar arasında, Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri yer almaktadır. Bu bölgeler, yüksek dağları, dik yamaçları ve iklim özellikleri ile çok yüksek risk altındadır. Türkiye’de yaşanan çığ afetleri arasında 1 Şubat 1992 tarihinde Şırnak Gömeç’te meydana gelen ve 71’i asker 97 kişinin hayatını kaybettiği çığ faciası, 18 Ocak 1993 Bayburt, Üzengili köyünde oluşan büyük kar hareketleri nedeniyle 59 kişinin ölümüyle sonuçlanan çığ felaketi, 4-5 Şubat 2020 tarihlerinde Van’da meydana gelen ve 42 kişinin ölümüyle sonuçlanan ardışık iki çığ düşmesi unutulmayacak olaylardır.

Dünyada ve ülkemizde yaşanmış birçok çığ afeti, kar hareketinin ne kadar tehlikeli olduğunu ve insan hayatını tehlikeye attığını göstermekte, ayrıca bu olaya karşı alınabilecek tedbirler için yapılması gereken çalışmaların da ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Kar ve çığ araştırmaları birçok farklı bilimsel disiplin altında geliştirilmektedir. Bu çalışmalar içerisinde çığ hareketinin matematiksel modelleme çabaları önemli bir yer

tutmaktadır. Bu kapsamda fiziksel ve istatistiksel modelleme çalışmaları teknolojik gelişimle birlikte hızlı, güvenilir ve gerçek duruma en yakın sonuçları üretmek amacıyla yürütülmektedir. Kar, hareketi esnasında bazen katı bir kütle, bazen sıvı akışı gibi davranmaktadır. Bu nedenle konu ile ilgili laboratuvar ölçeğinde yapılan deney çalışmaları oldukça sınırlı sayıdadır. Bu durum matematiksel model çalışmalarının geliştirilmesi için sahadan elde edilecek verilerin kullanımını zorunlu hale getirmektedir.

Modelleme çalışmaları ile birlikte üretilen bilgisayar yazılımları yaşanmış çığ olaylarına uygulanarak geliştirilmeye çalışılmaktadır. Çığ sorunu yaşayan ülkelerde çığlara karşı önlem almak veya riskleri hesaplamak amacıyla çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yazılımlardan birisi İsviçre'nin Davos kentinde bulunan "Kar ve Çığ Araştırma Enstitüsü" (Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF) tarafından uzun yılların birikimi neticesinde geliştirilen RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) programıdır. Yazılım, dinamik ve gerçek zamanlı kar çığları, çamur (enkaz) akışı, kaya düşmesi gibi yerçekimi etkisindeki doğa olaylarının 2-Boyutlu benzeşimlerine ait çözüm sonuçlarını üç boyutlu sayısal yükseklik modelleri üzerinde görsel olarak sunabilmektedir. Yazılımın bir önceki versiyonu 1-Boyutlu AVAL-1D programıdır. AVAL-1D sadece kar çığlarının simülasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla kullanılan bir yazılımdır. Bu programın amacı da RAMMS'a benzer şekilde çığların hidrolojik, mekanik ve termal özelliklerini modellemek, çığ oluşumunu ve yayılmasını tahmin etmek için geliştirilmiştir. AVAL-1D programı uzun yıllar, çığ afetinin potansiyel etkilerinin analizi, risk değerlendirmeleri ve önleyici tedbirlerin belirlenmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Çığ sorunu yaşayan diğer ülkeler tarafından da farklı model (yazılım) önerileri sunulmuştur. Örneğin Avusturya çığ araştırma merkezleri tarafından önerilen ELBA+ (Energy Line Based Avalanche) ve SamosAT programları kar çığlarının modellenmesi için geliştirilmiştir (Schmidtner, Sailer, Bartelt, Fellin, Fischer, ve Granig, 2018).

Çığın hareket mekanizmasının benzeşimini gerçekleştirmek amacıyla literatürde 1-Boyutlu modellerden 2-Boyutlu çözümleri içeren genişletilmiş yeni versiyonlarına doğru bir değişim söz konusudur. Bununla birlikte çığ hareketinin doğası gereği baskın hareket yönü olan yamaç aşağı yöndeki hız ve basınç değerlerindeki değişimler yanal veya düşey yönler göre daha belirgin olmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında 2-Boyutlu modellerden elde edilen hız, basınç ve durma mesafesi gibi benzeşim sonuçları, aynı çalışma alanı için 1-Boyutlu

model sonuçları ile karşılaştırılmış ve 1-Boyutlu modellerin kapasite değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu amaçla, bu tez kapsamında. Matlab programının GUI (Graphical User Interface) aracılığı ile “Gazi-Çığ” isimli 1-Boyutlu çığ model yazılımı hazırlanmıştır. Hazırlanan yazılımda Perla, R., Cheng, T. ve Mc.Clung, D. (1980) tarafından önerilen Kütle Merkezi Modeli uygulanarak çözümler üretilmiştir.



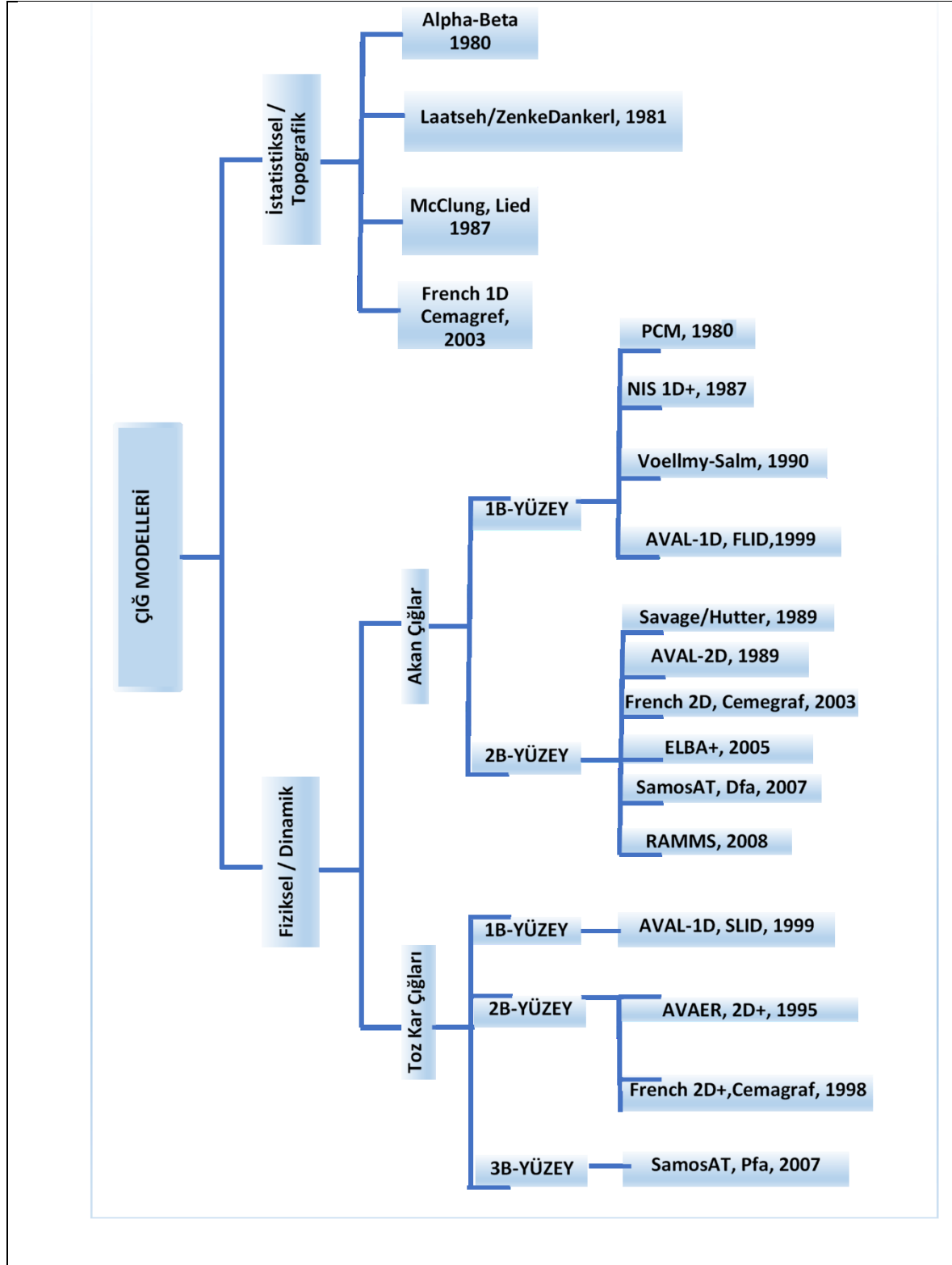


2. ÇIĞ MODELLERİ VE GELİŞİMLERİ

Çığ terimi, orta Avrupa ülkelerindeki dillerde (Almanca-Lawine, Fransızca-Avalanche, İtalyanca Valanga vb.) ve İngilizce literatürde (Avalanche) genel olarak kütle hareketlerini ifade ederken Türkçemizde “çığ” terimi doğrudan kar akışını ifade etmektedir. Bu nedenle burada “çığ” sözcüğü kullanılırken literatürdeki karşılığı olan “kar çığları” anlamında kullanılacaktır.

Çığlar kısaca, kar kütlesinin yerçekimi etkisinde hızlı hareketi ile karakterize edilen ve bazen bölge sakinlerini de tehdit eden bir doğa olayı olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte dağlık bölgelerdeki altyapıya büyük zararlar verebilmektedir. Çığla temasta olabilecek, dağların mevsimsel olarak karla kaplı olduğu ülkelerin bazılarında halkın güvenliği açısından çığ tahmini hizmeti amacıyla belirli bir bölge için çığ meydana gelme olasılıkları yayınlanmaktadır. Ancak şu anda tek bir çığ olayının zaman ve mekân açısından tahmin edilmesi oldukça güçtür. Çünkü çığı tetikleyecek, yani kırılacak kar kütlesinin (serbest bırakma) oluşması birçok faktör etkisiyle dinamik bir şekilde değişkenlik göstermektedir. Erime noktasına yakın bir yerde bulunan oldukça gözenekli bir malzeme olan kar kütlesindeki bu değişkenlik ve katmanlı yapının kendine has karakteri, sürecin yerel takibini gerektirmekte, aynı zamanda mekân ve zaman açısından bir zorluk oluşturmaktadır.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı çığın önceden tahmin çalışmaları yanısıra olayın oluşumundan durma noktasına kadar süren hareketin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla sayısal modeller geliştirilmiştir. 1955 yılında Voellmy tarafından önerilen eğik düzlem üzerinde kütle hareketine dayalı yönetici diferansiyel denklemler günümüzde bilgisayar yeteneklerinin de artması ile birlikte oldukça kullanıcı dostu araçlar haline dönüşmüştür. Günümüzde sayıları oldukça artan sayısal modeller, genel olarak iki grupta incelenmektedir. Bunlar istatistiksel modeller ve sayısal çözüm tekniklerinin kullanıldığı bilgisayar modelleridir. Modellerin geliştirilme yılları ve uygulama alanlarını özetleyen bir sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çığ sayısal modelleri sınıflandırması (Sauermoser, Granig, Kleemayr ve Margreth, 2015).

Sonraki gelişmeler, Voellmy-Salm modeli (Salm ve diğerleri, 1990), kütle merkezi modeli olan PCM modeli (Perla, ve diğerleri, 1980), birçok ülkede kullanılan, bir boyutlu granüle

malzeme ve sayısal çözüm modeli bulunan AVAL-1D (Christen, Bartelt ve Gruber, 2002), iki boyutlu benzeşim modeli ELBA (Volk ve Kleemayr, 1999; Volk, 2005) (Şu anda ELBA+ olarak sürümdedir) olarak sıralanabilir.

ELBA+ modelinin avantajı özel olarak bir çığ hattının tanımlanmasına gerek duymamasıdır. Çünkü model, CBS içerisinde üç boyutlu sayısal arazi yüzeyini kullanarak muhtemel çığ hareketi oluşacak patikalara kendisi karar verebilmektedir. Avusturya'da 1999 yılında oluşan büyük çığlar sonrasında üç boyutlu model SAMOS 99'un gelişimi için büyük çaba sarf edilmiştir. Model hem ıslak hem de toz çığ hesaplarını yapabilmektedir (Rudolf ve diğerleri, 2008). 2008 yılından itibaren SamosAT (Oberndorfer ve Granig, 2007; Sampl, 2007) modeli kullanıma uygun hale getirilmiştir.

İsviçre Davos'ta bulunan SLF araştırma merkezi tarafından geliştirilen AVAL-1D'nin sonrasında uzun yılların tecrübesi neticesinde 2-Boyutlu olarak geliştirilen RAMMS sayısal modeli 2005 yılından itibaren kullanıma başlanmıştır. Aynı model içerisine çığ hesaplamalarına ek olarak üç boyutlu topoğrafyada çamur çığı ve kaya düşmesi modülleri de eklenmiştir. Modeller özellikle çığın durma mesafesi hesaplanması için sadece Avrupa'da değil diğer ülkelerde de kullanılmaktadır.

Kitahara, Yoshimatsu ve Fujisawa (1991) Japonya için bir çığ modeli geliştirmişlerdir. Benzer şekilde Grigorian ve Ostroumov (1977) tarafından MSU-dense isimli çığ modeli ise öncelikle Rusya'da kullanılmak üzere geliştirilmiş bir diğer sayısal modeldir. Sayısal modellerin ilgili detaylarına Demir (2018)'den ulaşılabilir.

Çığların benzeşim çalışmalarında önemli bir yeri bulunan istatistiksel modellerin en büyük avantajları kolay uygulanabilmeleridir. Modellerde etkin parametreler genellikle arazi topoğrafyası ve ilişkili birkaç parametreden oluşur. Fakat geliştirilmeleri için mevcut çığ kayıtlarının düzenli ve uzun süreli olması beklenmektedir. İstatistiksel modellerin bir diğer dezavantajı ise geliştirilen modelin güvenilirliğinin yerel sınırlar içerisinde kalmasıdır. Bir başka sahada uygulanması büyük belirsizlikleri içerebilir.

Akan çığın hareket halindeki karmaşıklığı, yönetici denklemlerde yapılan bazı kabullere dayalı basitleştirilmiş modellerle tahmin edilebilir. Buna rağmen, kar malzemesinin koşullara bağlı büyük değişkenliği ve çok çeşitli akış dinamiğinin sınırlı anlaşılması

nedenleriyle kar çığı dinamiğinin fiziksel temelli tam bir açıklaması henüz mevcut değildir. Bundan dolayı iki boyutlu modellerde dahi (RAMMS veya ELBA+ gibi) benzeşim sonuçlarının iyi tahlil edilmesi önerilmektedir (Siegfried ve diğerleri, 2015).

Türkiye’de gerçekleştirilmiş akademik çalışmalar genellikle sayısal modellerin olay bazlı çığlara uygulanması olarak öne çıkmaktadır. Örneğin Durak (2011), Arslan (2014), Uçar (2014), Demir (2018) ve Bütün (2018) çığın bilgisayar model uygulamaları ile ilgili lisansüstü tezler üretmişlerdir.

Durak (2011) yüksek lisans tez çalışmasında, Bayburt iline bağlı Üzengili Köyü’nde 1992 kış mevsiminde meydana gelen büyük çığ olayı için yerleşim biriminde çığ olayından etkilenen yapı hasar durumlarından elde edilen gözlemler ile sayısal model sonucundan elde edilen basınç değerlerini kıyaslayarak sayısal model benzeşim başarısını araştırmıştır. Çalışmada Lang (1983)’a ait 1-Boyutlu modeli kullanmıştır. Araştırma sonuçları 30-35 kPa şiddetindeki basınçların yapıların yıkılması açısından literatürdeki değerler ile tutarlı olduğunu ve sayısal model tahminlerinin de bu değerler ile uyum içerisinde bulunduğunu göstermiştir.

Arslan (2014), Trabzon ili Uzungöl Beldesinde bulunan çığ patikalarından birisi için AVAL-1D Çığ Dinamik Modelini kullanarak uygulama alanında oluşmuş bir çığ örneği için benzeşim elde etmiştir. Model, çığ ana akış eksenini boyunca süreklilik ve momentum denklemlerini sayısal yöntemler kullanarak çözmektedir. Program tarafından istenen girdi verileri belirtilen tez içerisinde ayrıntıları ile açıklanmıştır. Program çıktıları güzergâh boyunca çığ hızları, çığ etki basınçları ve durma mesafesi olarak sıralanabilir. Modelin sonuçları 1992 yılında yaşanan Uzungöl örneğindeki çığ durma mesafeleri ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile ölçümlerin uyumlu olduğu belirlenmiş, ayrıca uygulama alanı için seçilebilecek sürtünme değerlerinin aralıkları tespit edilmiştir. Modelde kullanılan sürtünme parametrelerinin (μ -Coulomb tipi sürtünme katsayısı ve ξ -Türbülanslı akım ile ilişkili sürtünme katsayısı – konu ile ilgili detaylı bir çalışma Naaim ve diğerleri (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir.) Türkiye’deki iklim ve arazi şartları açısından değerlendirilerek modelde önerilen değerlerle kıyaslaması için yeni çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Uçar (2014) tarafından sunulan doktora tezinde 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, CBS teknolojileri kullanılarak tespit edilen eğim, bakı, tepe sırtlarına uzaklık, yüzey engebelik gibi topografik 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.

Bütün (2018) ve Demir (2018) yaptıkları tez çalışmalarında 2-Boyutlu RAMMS çığ benzeşim programını olay bazlı çığ durumları için uygulamışlardır. Bütün, çalışma sonuçlarında araziden elde edilen durma mesafelerinin program sonuçlarıyla uyumlu olduğunu Demir ise çalışmasında CBS altlığı olarak kullanılan sayısal harita çözünürlüklerinin RAMMS program sonuçlarına etkilerini araştırmıştır. Çözünürlük değerlerinin optimum çözümleri tez çalışması içerisinde detayları ile incelenmiştir.

Türkiye'den seçilen çığ olaylarına ait model uygulama örnekleri Koçyiğit ve Gürer (2007), Aydın (2010), Köse, Aydın, Akkemik, Yurtseven ve Güner (2010), Aydın, Bühler, Christen ve Gürer (2014) gibi araştırmacıların makalelerinde görülebilir. Örneğin Aydın ve diğerleri (2014) tarafından Türkiye'de seçilen bazı geçmiş çığ olayları için iki boyutlu sayısal model sınamaları gerçekleştirilmiştir. 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 kullanılabilir. Bu bulgular ışığında doğrulanan model çalıştırılmaya hazırdır. Yeni nesil sayısal modeller CBS uyumlu geliştirilmeye devam edilmektedir. ELBA+ ve RAMMS gibi çığ modelleri CBS ile uyumlu çalışmakta, programdan elde edilen sonuçlar üç boyutlu sayısal 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.

Sayısal modellerin gelişimi çözülecek yönetici diferansiyel denklemlerin oluşturulması ile doğrudan ilişkilidir. 1-Boyutlu veya 2-Boyutlu sayısal modellerin birçoğunda kullanılan yönetici denklemler, “Kütlenin Korunumu”, “Momentumun Korunumu” ve “Enerji Korunumu” olarak görülmektedir. Örneğin 2-Boyutlu RAMMS sayısal modeli için kullanılan yönetici denklemler aşağıdaki şekilde verilmektedir (Christen ve diğerleri, 2010):

Kütlenin korunumu;

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial(hU_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hU_y)}{\partial y} = \dot{Q}(x, y, t) \quad (2.1)$$

x-yönünde momentum denklemi;

$$\frac{\partial(hU_x)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x h U_x^2 + g_z k_{a/p} \frac{h^2}{2})}{\partial x} + \frac{\partial(hU_x U_y)}{\partial y} = S_{gx} - S_{fx} \quad (2.2)$$

y-yönünde momentum denklemi;

$$\frac{\partial(hU_y)}{\partial t} + \frac{\partial(hU_x U_y)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y h U_y^2 + g_z k_{a/p} \frac{h^2}{2})}{\partial y} = S_{gy} - S_{fy} \quad (2.3)$$

Denklemlerde h : Akan kar yüksekliğini, $\dot{Q}$: kar sürüklenme oranını, U_x ve U_y : çığın sırasıyla x ve y yönündeki hız bileşenlerini, S_{gx} ve S_{gy} : x ve y yönünde yer çekimi ivmesi ile hareket tetikleyen kuvvetleri, S_{fx} ve S_{fy} : Voellmy-Salm modeli tarafından önerilen sürtünme direncini, $k_{a/p}$: aktif veya pasif zemin basınç katsayısını simgelemektedir. RAMMS programında bu değerlerin hesaplanması için Christen ve diğerleri (2010) aşağıdaki formülleri kullanmıştır:

$$S_{gx} = g_x h \text{ ve } S_{gy} = g_y h \quad (2.4)$$

$$S_{fx} = n_{U_x} \left[\mu g_z h + \frac{g \|U\|^2}{\xi} \right] \quad (2.5)$$

$$S_{fy} = n_{U_y} \left[\mu g_z h + \frac{g \|U\|^2}{\xi} \right] \quad (2.6)$$

$$k_{a/p} = \tan^2 \left[45^\circ \mp \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.7)$$

$$\|U\| = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \quad (2.8)$$

$$n_{U_x} = \frac{U_x}{\|U\|} \text{ ve } n_{U_y} = \frac{U_y}{\|U\|} \quad (2.9)$$

Bu formüllerde g_x , g_y ve g_z : yerçekimi ivmesinin bileşenlerini, n_{U_x} ve n_{U_y} : birim vektör bileşenlerini, μ : Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı, ξ : Türbülanslı akışta sürtünme katsayısını, $\emptyset$: malzemenin içsel sürtünme açısını belirtmektedir.

RAMMS programı Voellmy-Salm modeline ek olarak (2.10) Eşitliğini de çözüm denklemlerine eklemiştir:

$$\frac{\partial(hR_K)}{\partial t} + \frac{\partial(hR_K U_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hR_K U_y)}{\partial y} = \dot{P} - \dot{D} \quad (2.10)$$

Bu denklemde R_K : Rastgele kinetik enerjisinin derinlik ortalamasını, $\dot{P}$ kaymada sürtünme işi nedeniyle oluşan toplam kinetik enerjinin üretimini, $\dot{D}$ ise aynı enerjideki dağılmayı ifade etmektedir. Bu değerler için Christen ve diğerleri (2010) (2.11) Eşitliğini önermiştir:

$$\dot{P} = \alpha(\|S_f\| \|U\|) \text{ ve } \dot{D} = \beta(hR) \quad (2.11)$$

Denklemlerin çözüm stratejisi ve denklemlere ait parametrelerin ayrıntılı açıklamaları Christen ve diğerleri. (2010) tarafından verilmektedir.

Araştırmacılar RAMMS modelinin geliştirilmesi yönünde çalışmalarına devam etmektedir. Örneğin Fischer, Kowalski ve Pudasaini (2012), modelin bir uygulaması ile topografyadaki eğriliğin RAMMS program sonuçlarına etkisini araştırmışlardır. Uygulama sahası için önerilen üç adet modelden elde edilen sürtünme değerleri kıyaslanarak, eğrilik etkisinin akım dinamiği üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu gelişme sonrası yamaç eğrilik etkisi de model içerisine eklenmiştir. Hussin ve diğerleri (2012), Deubelbeiss ve Graf (2013), Gauer ve diğ. (2023), Martini ve diğ. (2023) gibi birçok araştırmacı RAMMS programını kullanarak araştırma veya uygulamalarını gerçekleştirmiştir. Konu ile ilgili genel bir değerlendirme Ancey (2001) tarafından yapılmıştır.

Farklı sayısal model geliştirme çalışmaları aktif olarak devam etmektedir. Örneğin Zugliani, ve Rosatti (2021) önerdikleri 2-boyutlu yeni modelin ıslak kar çığları için daha iyi sonuçlar ürettiğini iddia etmektedir. Aslında model yeni olduğu iddia edilse de yukarıda belirtilen

yönetici denklemlere çok benzeyen Voellmy akışkanı olarak tanımlanan tek fazlı sıg su denklemlerinin çözümünü içermektedir. Burada farklılık olarak yerel koordinat sisteminin kullanılması görülmektedir. Yani yönetici denklemlerin hareket rotası üzerindeki her bir noktada önerilen koordinatlar o nokta için geçerli olmakta ve bir sonraki hareket noktasında bu durum değişiklik göstermektedir. Sonuç olarak yerel koordinat sisteminin kullanılarak sonlu hacimler yönteminin de uygulanmasıyla önerilebilir bir model olduğu belirtilmektedir. Çığ problemini yaşayan ülkelerden Rusya'da konu ile ilgili yapılan çalışmaların Rusça dilinde yayınlanmış olması ve ülkenin uzun yıllar akademik olarak kapalı bulunması, yapılan çalışmaların uluslararası literatüre sonradan katılmasına sebep olmuştur. Bu nedenle Eglit ve diğ. (2020) aslında 20. yüzyılın ortalarından itibaren Rusya'da kullanılan çığ modellerinin detaylı bir incelemesinden yola çıkarak uygulanabilir bir çığ matematiksel modelinin sorunlara cevap veren bir araç olabilmesi için bazı önemli öneriler sunmuştur. Bunlar:

1. Ölçüm verileri ile niteliksel olarak uyum içinde olabilecek makul hipotezin formüle edilmesi,
2. Kabul edilen hipotezin matematiksel ve sayısal bir modele dönüştürülmesi,
3. Kabul edilen hipotezin akış davranışı üzerindeki etkisinin çeşitli temel prensip, spesifik problemlere uygulanması,
4. Kabul edilen hipotezi desteklemek veya reddetmek için elde edilen sonuçların ölçüm verileriyle karşılaştırılmasıdır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada uygulanan yöntem açısından benzer süreç takip edilmiştir.

Literatürde yapılan model çalışmaları incelendiğinde 1-Boyutlu modellerden özellikle AVAL-1D (Christen ve diğ., 2002, Bartelt ve diğ, 1999) ve PCM modellerinin (Perla, Cheng ve McClung, 1980) yaygın olarak birçok ülkede uygulandığı görülmektedir. Bu kapsamda bu modeller ile ilgili teorik bilgiler daha sonraki bölümlerde anlatılacaktır.

3. METODOLOJİ

Çığ hareketinin benzeşimi için geliştirilen modeller hakkında Bölüm 2’de bazı bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan model (Perla-Cheng-McClung (1980), Kütle Merkezi Modeli) ve konuyu bütünleştirecek bazı diğer ilişkili modeller hakkında detaylı bilgilendirme verilmiş ve Kütle Merkezi Modelinden esinlenerek tez kapsamında geliştirilen çözüm yöntemi ile ilgili gerekli açıklamalar yapılmıştır.

3.1. Voellmy (1955) Modeli

1951 ve 1954 yılları kış mevsimlerinde Orta Avrupa Alplerinde yaşanan büyük çığ felaketlerinin ardından, 1955 yılında İsviçre’de ilk kez Voellmy tarafından kendi ismi ile anılan bir model geliştirilmiştir. Salm ve diğerleri (1990), Voellmy’nin bu il model önerisi ile dinamik modellemeye en büyük katkısının Coulomb tipi kuru sürtünme faktörü (μ) ve açık kanallarda kullanılan Chezy direnç katsayısına benzer bir şekilde, hızın karesi ile ilişkili olan türbülans kaynaklı sürtünme (ξ) faktörünün olduğunu vurgulamıştır. Bu iki terimin bir araya gelmesiyle "Voellmy sıvısı" adı verilen bir kavram oluşturulmuştur.

Voellmy, modelinde türbülanslı akım direncinin (τ_s) $\sim \rho \cdot v^2 / \xi$ ile birlikte gerçekleştiğini ifade etmektedir. Burada τ_s : akımdaki direnci, ρ : akan kar kütlelerinin yoğunluğunu, v : akış hızını ve ξ : akış esnasında içsel sürtünme katsayısını simgelemektedir. (Pudasaini ve Hutter, 2007: 102, 103).

Yamaç eğimi (ψ) sabit, aşağı yönde (h) yüksekliğinde kayan bir kar tabakasının tabanında oluşan sürtünme direnci, kayan yüzeyin alanıyla ilişkili ve türbülanslı hareket durumunda ortalama kayma hızı (v) ve kar tabakasının yoğunluğuyla (ρ) bağlantılı olduğu (3.1) nolu hareket denkleminde anlaşılmaktadır. Voellmy, kayan kar kütlelerine Newton’un ikinci hareket yasasını uygulayarak (3.1) denklemini aşağıdaki şekilde elde etmiştir:

$$g(\rho - \rho_L)h \sin \psi - \mu g(\rho - \rho_L)h \cos \psi - \frac{\rho g}{\xi} v^2 = \rho h \frac{dv}{dt} \quad (3.1)$$

Denklemde ρ_L : Havanın yoğunluğu, g : yerçekimi ivmesi, t : geçen süredir.

Eşitlik-3.1'in özel durumlar için olan çözümünden, maksimum çığ hızını veren Eşitlik (3.2) ve çığın durma mesafesini hesaplayan Eşitlik (3.3) türetilmiştir. Bu denklemler, çığ hareketi ve davranışının hesaplanmasında uzun yıllar kullanılmış önemli matematiksel ilişkileri ifade etmektedir:

$$v_{max} = \sqrt{\xi h \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho}\right) (\sin\psi - \mu \cos\psi)} \quad (3.2)$$

$$S = \frac{\xi h}{g} \ln \cosh \left(\frac{v_{max}}{\frac{\xi h}{g}} t \right) \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde, v_{max} : hareketi esnasında çığın ulaşabileceği en yüksek hızı, S ise çığın durma mesafesini belirtir.

3.2. Voellmy-Salm Modeli

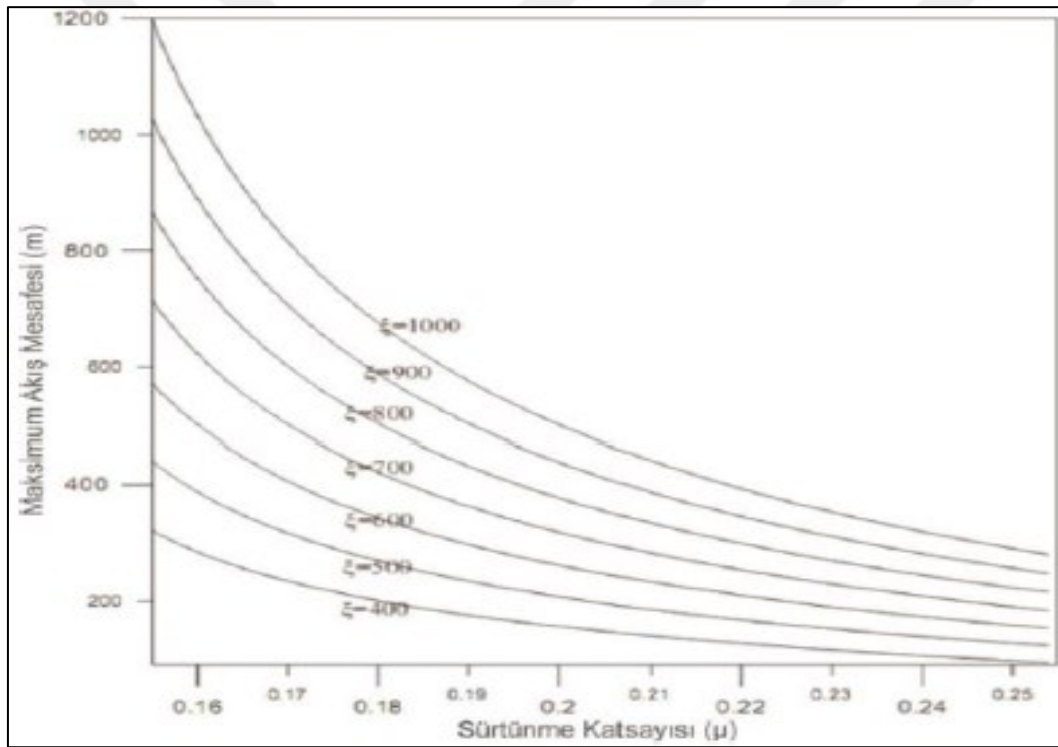
1966'da Salm, Voellmy modelini geliştirerek içsel sürtünmeyi ve aktif-pasif akım koşullarını model içerisine entegre etmiştir. Bu dinamik modelde, Voellmy'nin çığ modelinde olduğu gibi, çığ kütle merkezini dikkate alarak kayan bir blok model tipi tanımlanmıştır. Voellmy-Salm (1966) modelinin pratik durumlar için kullanım kılavuzu 1990'lı yıllarda yayınlanarak birçok çığ olayında uygulama şansı bulmuştur (Koçyiğit ve Gürer, 2007).

Kılavuza göre, modelde kullanılan sürtünme parametrelerinin pratik durumlar için alabileceği değerler Çizelge 3.1'de listelenmiştir. Voellmy-Salm modeli, çığ durma mesafesini ve çığ basınçlarını hesaplarken geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Özellikle AVAL-1D gibi sayısal çığ hesaplama modellerinin geliştirilmesine kadar çığ analizlerinde önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Bu model, çığların davranışını anlama ve çığ risklerine karşı daha etkili önlemler alma konusunda büyük bir öneme sahiptir.

Voellmy-Salm modeline göre, durma bölgesi dışında, çığ hareketinin bir kütle noktasında yoğunlaştığı ve başlangıç bölgesinden kopan kar kütesinin akması durumunda oluşan Q debisinin çığ hattı boyunca değişmediği kabul edilir. Çığın tetiklenme hızı v_0 ve akış debisi Q sırasıyla Eşitlik (3.4) ve Eşitlik (3.5) ile hesaplanmaktadır:

Çizelge 3.1. Voellmy-Salm modelinde kullanılan sürtünme parametreleri (WSL,1999)

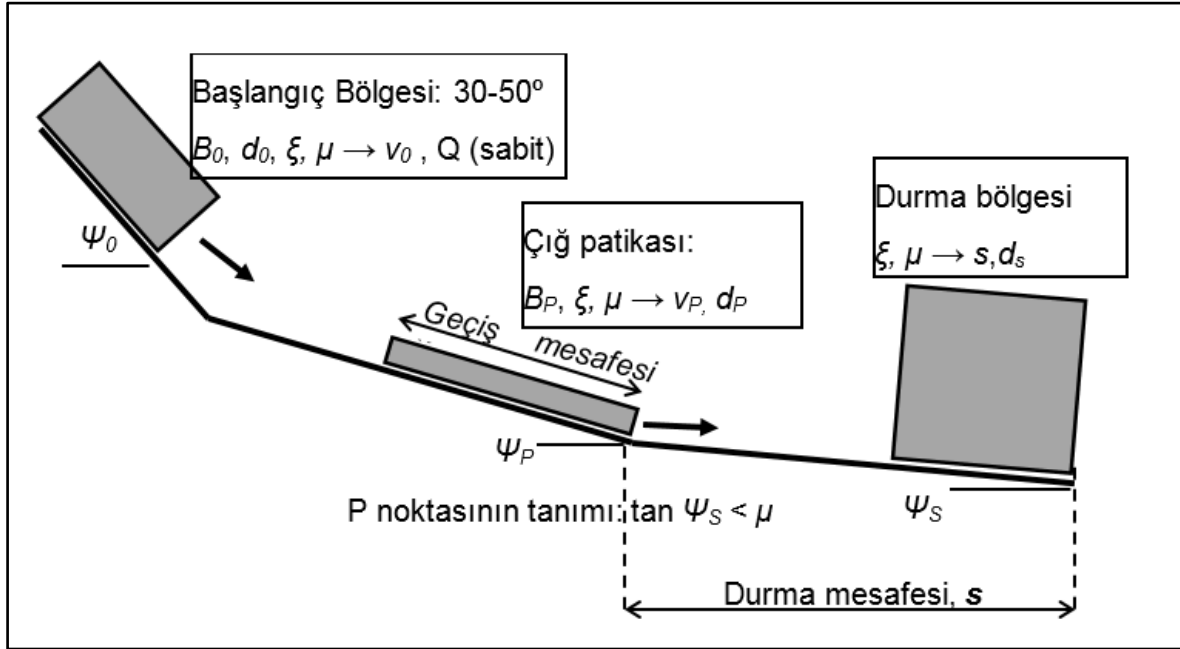
Sürtünme Parametreleri		Tanımlama
μ	Kuru Sürtünme	Yere dik düzlemde basınç ve kar özelliklerine bağlıdır. Büyük çığlar için ($>10^5 \text{ m}^3$) 1300 m'den yüksek kesimlerde ve akım derinliğinin 1- 2 m olduğu durumlarda $\mu=0,155$ önerilir. Islak kar çığları $\mu=0,3$ değeri ile hesaplanır. Durma bölgesi uzunluğu μ 'ye oldukça bağlıdır.
ξ	Türbülanslı Sürtünme	Hızın karesi ile orantılı ve çığ patikasındaki pürüzlülüğe bağlıdır. Düz araziler için $\xi=1000 \text{ m/s}^2$ önerilir. Daha yoğun kanallaşma veya ormanda $\xi=400 \text{ m/s}^2$ alınır. (ξ) parametresi hız değerine oldukça bağlıdır.

Şekil 3.1. Kuru sürtünme faktörü (μ) ve türbülans kaynaklı sürtünme faktörü (ξ) değerlerine göre farklı çığ güzergâh uzunlukları (Koçyiğit ve Gürer, 2007)

$$v_0 = \sqrt{d_0 \xi (\sin \psi_0 - \mu \cos \psi_0)} \quad (3.4)$$

$$Q = B_0 d_0 v_0 \quad (3.5)$$

Bu denklemlerde; d_0 : Kırılma derinliği, ψ_0 : Başlangıç bölgesi eğimi, B_0 : Kırılma bölgesi genişliği, v_0 : Başlangıç bölgesindeki çığ tetiklenme hızı, ξ ve μ : Sürtünme parametreleridir (Çizelge 3.1'de belirtilmiştir).



Şekil 3.2. Voellmy-Salm modeli genel gösterimi (Margreth, 2015)

Şekil 3.2'de gösterilen durma bölgesinin başlangıç noktasını temsil eden P noktasında v_P hızı ve d_P akım derinliği hesaplanmaktadır. P noktasının mansabında, durma bölgesinin ortalama açısını ψ_S olarak sağlamalıdır, ki bu açı Eşitlik (3.6) ile belirtilmiştir.

$$\tan \psi_0 < \mu \quad (3.6)$$

P noktasında arazi eğim açısı ψ_P 'ye bağlı olarak v_P hızı hesaplanır. P noktası, genellikle 100-200 metre civarında olduğu varsayılan bir geçiş bölgesidir. Genişliğe (B_P) bağlı olarak hız, Eşitlik (3.7) ile hesaplanır. Bu eşitlik, çığ hareketinin belirli noktalardaki hızını hesaplamak için kullanılan bir denklemi açıklar. Çığın geçiş bölgesindeki davranışını anlamak ve değerlendirmek için bu tür hesaplamalar önemlidir.

$$v_P = \left[\frac{Q}{B_P} \xi (\sin \psi_0 - \mu \cos \psi_0) \right]^{1/3} \quad (3.7)$$

Akım derinliği d_p ise süreklilik denklemi kullanılarak Eşitlik (3.8) ile hesaplanmaktadır. Bu denklem, çığın akım derinliğini hesaplarken kullanılır ve çığ hareketinin özelliklerini belirlemede önemlidir. Süreklilik denklemi, çığın kütesinin farklı noktalardaki dağılımını tanımlar ve bu dağılımla ilgili bilgi sağlar.

$$d_p = \frac{Q}{B_p v_p} \quad (3.8)$$

P noktasından itibaren ölçülen durma mesafesi s değeri, Eşitlik (3.9) ile hesaplanmaktadır. Bu denklem, çığın P noktasından itibaren durma bölgesinde kat ettiği mesafeyi hesaplamak için kullanılır. Çığın durma mesafesini hesaplama, güvenlik ve risk yönetimi açısından önemlidir.

$$s = \frac{d_s \xi}{2g} \ln 1 + \frac{v_p^2}{V^2} \quad (3.9)$$

Ortalama birikmiş kar derinliği (d_s), Eşitlik (3.10) ile hesaplanırken, durma bölgesinde ortalama çığ hızı (V), Eşitlik (3.11) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemler, çığ analizi ve durma mesafesi hesaplamalarında kullanılan önemli parametreleri açıklar. Kar derinliği ve çığ hızı, çığın davranışını ve etkilerini anlamak için temel bilgilerdir ve güvenlik önlemlerinin planlanmasında kullanılır.

$$d_s = d_p \frac{v_p^2}{10g} \quad (3.10)$$

$$V^2 = d_s \xi (\mu \cos \psi_s - \sin \psi_s) \quad (3.11)$$

Bu denklemlerde; ψ_s : Durma bölgesinde ortalama eğim (derece), g : Yerçekimi ivmesi, sabit ve değeri $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak kabul edilir, d_p : Çığ patikası üzerinde P noktasında akım derinliği (metre), v_p : P noktasında çığ hızı (metre/saniye), V : Çığ durma bölgesinde ortalama hız değeri metre/saniye'dir.

Voellmy-Salm modeli, temel düzeydeki çığların hesaplamasında hızlı ve pratik sonuçlar veren bir modeldir. Parametrelerin girilmesiyle hesaplamalar adım adım kontrol edilebilir. Ancak bu modelin bir dezavantajı, çığ patikasında akım hızlarını gerçek değerlerden daha

düşük tahmin etmesi ve durma bölgesinde hesaplanan birikmiş kar derinliklerini gerçekçi bir şekilde hesaplamamasıdır. Bu nedenle P noktasının yerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi son derece önemlidir ve çığ uzmanları tarafından gerçekleştirilen arazi çalışmalarıyla değerlendirilmelidir.

Bu nedenle günümüzde Voellmy-Salm modeli, çığ analizlerinde daha az yaygın olarak kullanılsa da birçok modern çığ modelinin temelini oluşturan önemli bir referans noktasıdır. Bu model, çığ risklerini değerlendirmek ve çığ tehlikelerine karşı önlemler almak için kullanılan çeşitli hesaplamaların temelini atmıştır. (Margreth, 2015).

Bartelt ve diğerleri (1999) 2-Boyutlu model çalışmalarının gerekliliğini savunurken Voellmy-Salm modelinde yer alan bazı eksiklikleri aşağıdaki şekilde sıralamışlardır;

- Voellmy-Salm modelinin dağın yamacından aşağı doğru hareket eden kar kütlelerinin dağılımı, anlık hız tespiti ve durma bölgesinde yığılma (birikme) alanının hesaplarında eksiklerin bulunması,
- Durma mesafesinin çığın ön yüzüne göre değil, kütle merkezine göre hesaplanması,
- Durma bölgesinde tahmin edilen biriktirme yüksekliklerinin gerçekçi olmaması,
- Çığ güzergahı boyunca hızlanma ve yavaşlama kısımlarını ayıran referans konumunu önceden seçerek karmaşık geometrili çığ güzergahlarında çığ hızlarını ve durma mesafelerini hesaplamada hatalar içermesi,
- VS modeli yalnızca çığ kütlelerine etki eden dış kuvvetleri hesaba katması ve çığ gövdesi içindeki gerilme dağılımları hakkında bilgi vermemesi.

3.3. Cheng-Perla-McClung (Kütle-Merkezi) Modeli

Kütle merkezinin hareketi, Eşitlik (3.12)'de gösterildiği gibi tanımlanır. Bu denklem, kütle momentum değişiminin, kütleye etkiyen kuvvetlerin toplamıyla ilişkisini ifade eder. Bu tür denklemler, çığların hareketini matematiksel olarak modellemek ve analiz etmek için kullanılmaktadır.

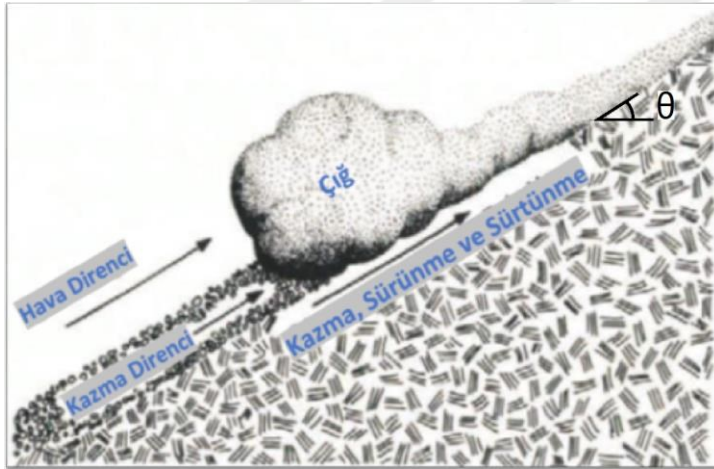
$$\frac{d}{dt}(Mv) = \sum F \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte 'M' terimi, çığ olayı süresince hareket halindeki kütleyi temsil eder. Bu kütledeki değişim, hareket esnasında ana kütleye kar katılması veya kar bırakılması yoluyla gerçekleşebilir. F terimi, akan kar kütlesine etkiyen toplam net kuvveti ifade eder. ' v ' ise çığın akış yüzeyine paralel ortalama hızını göstermektedir. (Perla ve diğerleri, 1980).

Çığın patikasındaki hareketi Eşitlik (3.12)'de verilen terimlerin daha açık ifade edilmesiyle Eşitlik (3.13) şekline dönüşür:

$$Mv \frac{dv}{ds} + v^2 \frac{dM}{ds} = Mg \sin \theta - R \quad (3.13)$$

Bu denklemlerde; s : Kütle merkezinin güzergâh üzerinde başlangıçtan itibaren konumu (metre cinsinden), g : Yer çekimi ivmesi (sabit olarak kabul edilir ve genellikle $9,81 \text{ m/s}^2$ 'dir), θ : Kayma yüzeyinin eğim açısı (derece cinsinden), R : Çığ hareketine karşı oluşan sürtünme, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi kazma ve sürünme dirençlerinin toplamını ifade eder.



Şekil 3.3. Çığın hızlanmasına karşı koyan kuvvetler (Perla ve diğerleri, 1980).

Sürünme, kazma ve sürtünme dirençlerinin toplamını temsil eden R terimi, çığın hızı, şekli, kütlenin dağılımı, kar özellikleri, güzergahın pürüzlülüğü ve diğer bağlantılı faktörlere bağlıdır. Bu ilişki oldukça karmaşıktır. Voellmy (1955) tarafından önerilen modelde olduğu gibi R 'nin, güzergaha etkiyen normal kuvvetin neden olduğu sürünme direnci ile orantılı olduğu kabul edilir. Ayrıca, güzergâh boyunca mevcut yerel merkezi eğrilik etkileri de hesaba katılır. Bu şekilde, R aşağıdaki Eşitlik (3.14) ile ifade edilir.

$$R = \mu M(g \cos \theta \pm v^2/r) \quad (3.14)$$

Burada μ sürtünme katsayısı, r ise yerel eğrisellik yarıçapıdır.

Ayrıca Voellmy (1955) tarafından önerildiği gibi, R içinde bulunan sürünme ve kazma dirençlerinin, eylemsizlik terimi olarak ifade edilen kv^2 tarafından baskın olduğu kabul edilir. R 'nin tanımını içeren ifade Eşitlik (3.13)'de yerine yazılırsa, Eşitlik (3.15) elde edilir:

$$Mv \frac{dv}{ds} = Mg(\sin \theta - \mu \cos \theta) - v^2 \left(\frac{\mu M}{r} - \frac{dM}{ds} + k \right) \quad (3.15)$$

Eşitlik (3.15)'in en sağında parantez içerisinde yer alan terimler tek formda birleştirilerek Eşitlik (3.16) ile ifade edilir ve Eşitlik (3.15) buna göre yeniden düzenlenirse Eşitlik (3.17) elde edilir:

$$D(s) = \frac{\mu M}{r} - \frac{dM}{ds} + k \quad (3.16)$$

$$\frac{1}{2} \frac{dv^2}{ds} = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) - \frac{D}{M} v^2 \quad (3.17)$$

Eşitlik (3.17)'nin çözümleri μ ve D/M olmak üzere iki ayarlanabilir değişken parametreye bağlıdır. Burada verilen D/M ifadesi kütle – sürünme oranının fiziksel bir yorumu olup birimi metredir.

Eşitlik (3.17) ' v^2 ' terimini içeren doğrusal bir diferansiyel denklemdir. Denklemden yer alan θ , μ ve M/D parametreleri, çığın güzergahını izleyen " s " nin konumuna göre değişkenlik içerdiğinden, denklemin analitik çözümü karmaşıktır. Bu nedenle, Perla ve diğerleri (1980) ile Körner (1976) gibi uzmanlar, bu denklemin çözümü için tekrarlayan (iteratif) bir çözüm prosedürünün kullanılmasının daha uygun olacağını önermişlerdir.

Bu tekrarlayan çözüm prosedürü için, çığ güzergahı önce her bir parçada eğim açısının sabit olduğu küçük bölümlere ayrılır. Her bir bölüm için θ , μ ve $\frac{M}{D}$ değerleri belirlenir. Eğer i 'inci bölümün başlangıç hızı V_i^A ve bu bölümün herhangi bir noktasında çığ durmuyorsa, bu bölümün sonundaki çıkış hızı V_i^B , Eşitlik 3.18 ile hesaplanır.

$$V_i^B = [\alpha_i(M/D)_i(1 - e^{\beta_i}) + (V_i^A)^2 e^{\beta_i}]^{1/2} \quad (3.18)$$

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

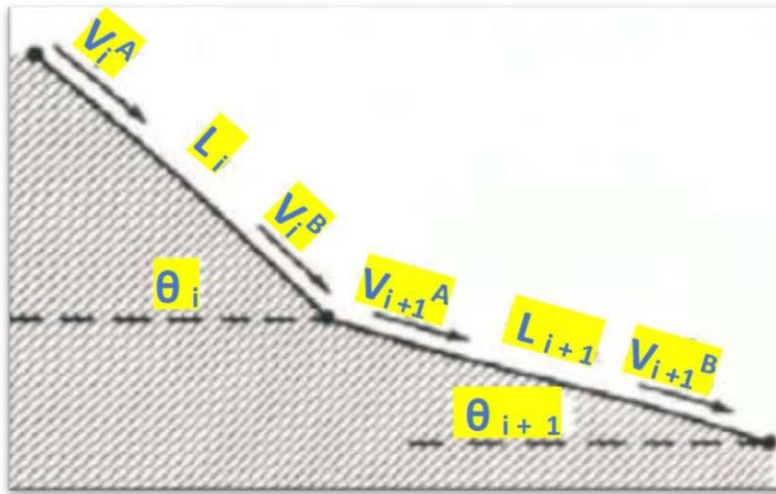
Eğer çığ, i 'inci bölümde durursa i 'inci bölümün başından itibaren çığın durma mesafesi Eşitlik (3.19) ile bulunmaktadır.

$$S = \frac{(M/D)_i}{2} \ln \left[1 - \frac{(V_i^A)^2}{\alpha_i(M/D)_i} \right] \quad (3.19)$$

Şekil 3.4'de temsili bir çığ güzergâhında “Bölüm i ” ve “Bölüm $i+1$ ” olarak tanımlanan ardışık iki bölüm gösterilmektedir. Şekil 3.4'de gösterilen V_i^B Eşitlik (3.18) ile hesaplanmaktadır ve V_{i+1}^A 'nın hesabında kullanılmaktadır.

Eğer $\theta_i < \theta_{i+1}$ ise $V_{i+1}^A = V_i^B$ olarak alınmaktadır, eğer $\theta_i \geq \theta_{i+1}$ ise o zaman doğrusal momentumun korunumuna dayanan bir düzeltme katsayısı kullanılarak iki nokta arasındaki açı farkının kosinüs değeri ile; $V_{i+1}^A = V_i^B \cos(\theta_i - \theta_{i+1})$ hesaplanmaktadır.

Her bir bölüm için gerekli olan θ değeri araziden elde edilirken μ ve $\frac{M}{D}$ değerleri ise çalışılan güzergâh için mevcut verilerden tahmini olarak elde edilebilmektedir.



Şekil 3.4. Bir çığ güzergâhı boy kesitindeki temsili ardışık bölümler (Perla ve diğerleri, 1980)

Voellmy (1955), çok düşük yoğunluğa sahip (10 kg/m^3) toz bulutu şeklinde akan çığlar için μ değerinin 0,1'den küçük olduğunu iddia etmekle birlikte Bovis ve Mears (1976) tarafından derlenen verilere dayalı çalışmalar, bu iddianın geçerliliğinin zor olduğunu göstermiştir. Gözlemler, μ 'nün 0,4'ten küçük değerler aldığını göstermektedir. Bu nedenle, μ için muhtemel değer aralığı 0,155 ile 0,4 arasındadır ve hesaplamalarda bu aralıkta bulunan değerlerin kullanılması uygun olacaktır.

Arazi üzerinde yapılan çalışmalar 30° 'den büyük eğim değerlerinde çığ hareketinin hızlanarak aşağı doğru kaymaya başladığını ve yaklaşık olarak 10° arazi eğimlerinde durma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Çığı harekete geçiren yerçekimi etkisini dikkate alan $\sin\theta - \mu\cos\theta=0$ eşitliği uygulandığında $\tan(\mu)^{-1} = \theta$ elde edilir. Bu denklemde $\theta = 10^\circ$ çığın durması için bir alt değer olduğundan $\mu = 0,155$ değeri de sınır alt değer olarak elde edilir.

$\frac{M}{D}$ ifadesinin alabileceği değer aralığı Eşitlik (3.20) kullanılmak suretiyle tahmin edilebilir.

$$V_t = \left[\frac{Mg}{D} (\sin\theta - \mu\cos\theta) \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

Voellmy (1955) ve Perla (1980) gibi araştırmacılar, bazen büyük ve kuru kar çığlarının hızlarının 50 m/s seviyelerine ulaştığını, hatta bazen 100 m/s'ye kadar çıkabildiğini rapor etmişlerdir. Bu yüksek hızlar göz önüne alındığında ve Eşitlik (3.20) kullanıldığında $\frac{M}{D}$ ifadesinin 10^3 m veya daha fazlasına ulaşabildiği görülür. Daha yavaş hareket eden ($v \approx 10 \text{ m/s}$) ıslak kar çığları için $\frac{M}{D}$ ifadesi daha düşük değerler olan 10^2 m civarında olabilmektedir. Bu nedenle, $\frac{M}{D}$ ifadesi 10^2 m ile 10^4 m arasında (hatta 10 m ile 10^5 m arasında) değişen değerler alabilmektedir.

3.3.1. Voelmy-Salm modeli ile kütle merkezi modelinin karşılaştırılması

Cheng-Perla ve Voelmy-Salm modelleri, her ikisi de çığların analizi için kullanılan farklı modellerdir.

Cheng-Perla modeli, çığın hareketini ı akışının kütle merkezi hareketi temelinde analiz eder. ıın akışı sırasında kütlenin merkezi önemli bir rol oynarken Voelmy-Salm modeli ise granüler malzemenin davranışını, içsel sürtünme ve kohezyon özelliklerini dikkate alarak çökme ve akış olaylarını modeller.

Cheng-Perla modeli, çığın kütle merkezi hareketini tahmin etmeye odaklanır. Bu model, çığın hızını, enerjisini ve etkisini belirlemek için kullanılır. Voelmy-Salm modeli ise granüler malzemenin çökme ve akış davranışını modeller. Bu model, çökme olaylarının yanı sıra ıların oluşumunu ve hareketini de analiz edebilir.

Cheng-Perla modeli, ıların yamaç boyunca hareketini analiz etmek için yaygın olarak kullanılır. Özellikle ı riskinin değerlendirilmesi ve korunma önlemlerinin planlanmasında önemlidir. Voelmy-Salm modeli ise genellikle granüler malzeme çökme olaylarının analizi ve tahmini için kullanılır. Ancak ı olaylarını da analiz etmek için uygun bir model olarak kullanılabilir.

Cheng-Perla modeli, çığın hareketini basit bir kütle merkezi yaklaşımla açıklar, bu nedenle bazen daha basit ve hızlı bir analiz için tercih edilebilir. Voelmy-Salm modeli, granüler malzemenin çeşitli özelliklerini dikkate alarak daha karmaşık bir matematiksel yaklaşım kullanır.

Cheng-Perla modeli, ıların katı madde olarak modellenmesine dayanan bir modeldir. ılar genellikle kar, buz ve hava karışımından oluşan katı malzemeden meydana gelir. Cheng-Perla modeli, çığın bu katı malzeme olarak hareketini analiz eder ve çığın kütle merkezi hareketini temel alır. Bu model, çığın katı malzeme olarak hareketini basitleştirilmiş bir şekilde açıklar.

Voelmy-Salm modeli, granüler malzemenin davranışını modellerken genellikle ıların katı olarak modellendiği bir modeldir. ılar, genellikle kar, buz ve hava karışımından oluşan katı malzeme olarak kabul edilir. Voelmy-Salm modeli, granüler malzemenin çökme ve akış davranışını analiz ederken, bu katı malzeme modellemesini temel alır.

Ancak bazı durumlarda, ılar sürekli bir hareket halinde oldukları için sıvı benzeri davranışlar da gösterebilirler. Özellikle ıın hareket sırasında granüler malzeme yoğunluğu

ve akıcılığı artabilir, bu da sıvılaşma benzeri bir davranış sergileyebilir. Bu durumda, Voelmy-Salm modeli çığın akış davranışını sıvıya benzer özelliklerle de modellenebilir.

Ancak genel olarak, Voelmy-Salm modeli granüler malzemenin çökme ve akış davranışını modellerken, bu granüler malzeme genellikle katı olarak kabul edilir. Voelmy-Salm modelinin sıvı malzeme davranışını açıklama yeteneği, çığların belirli koşullar altında sıvılaşma veya akıcı hale gelme eğiliminde olduğu durumları daha ayrıntılı olarak inceleyebilecek farklı modelleme yaklaşımlarına ihtiyaç duyabilir.

Voelmy-Salm modeli, genellikle granüler malzemelerin çökme ve akış davranışını modellerken katı olarak kabul edilir. Ancak bazı durumlarda, granüler malzemenin sıvı hale geçişini veya sıvılaşmasını da modeller. Bu, özellikle çığların akıcı hale geldiği veya sıvılaşma eğilimi gösterdiği durumlar için geçerlidir.

3.4. Sayısal Tabanlı Yeni Nesil Modeller

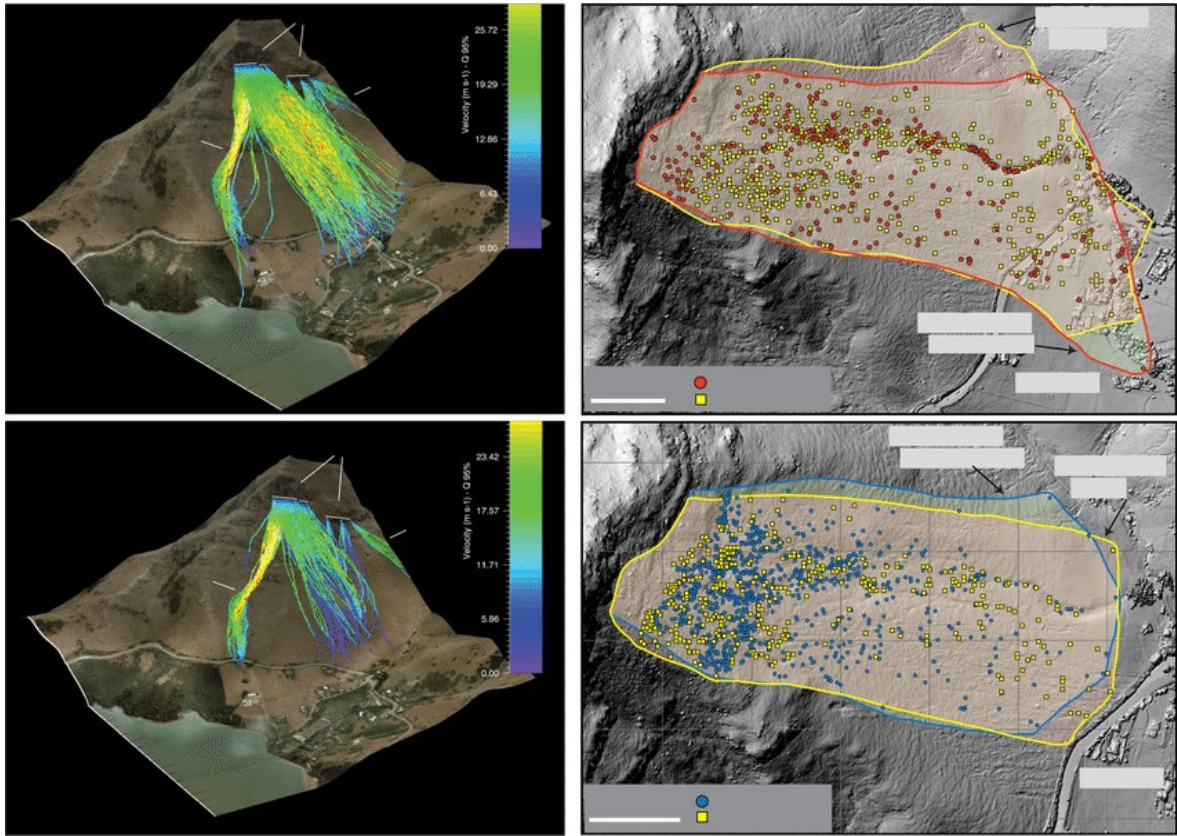
Çığ sayısal modelleri sınıflandırması hakkında Bölüm 2’de bazı bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan modelin (Cheng-Perla-McClung, Kütle Merkezi Modeli) doğrulanması amacıyla kullanılacak diğer modeller ve yeni nesil modeller hakkında teorik bilgilendirme yapılacaktır.

3.4.1. RAMMS programı

RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) sayısal benzeşim modeli, kar çığları, kaya düşmeleri, çamur akıntıları, yüzeyde sıkı toprak kaymaları ve heyelanlar gibi jeofiziksel kütle hareketlerini, bu hareketlerin başlangıcından bitişine kadar geçen süre zarfında iki boyutlu olarak hesaplamak amacıyla geliştirilmiştir. Model, SLF (Swiss Institute for Snow and Avalanche Research) tarafından tasarlanmış olup doğal afetlerin izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesine yardımcı olmaktadır.

İsviçre merkezli Kar ve Çığ Araştırma Enstitüsü (SLF) ile İsviçre Orman, Kar ve Arazi Araştırma Federal Enstitüsü (WSL) tarafından geliştirilen bu sayısal benzeşim modeline ait bir örnek uygulama Resim 3.1’de gösterilmiştir. Modelde, kar çığları, kaya düşmeleri/yuvarlanmaları, çamur akıntıları ve heyelanlar gibi doğal olaylarla başa çıkmak

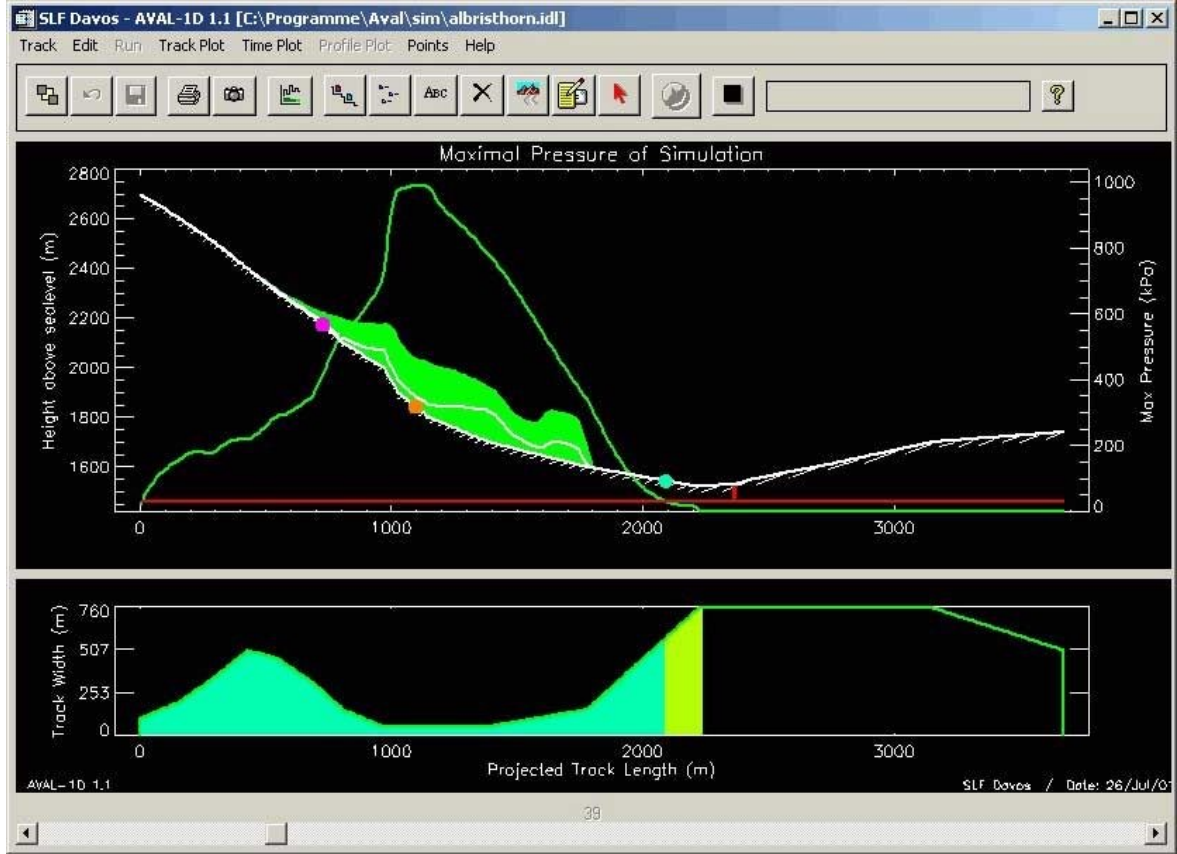
isteyen mühendislere yönelik modüller mevcuttur. Model, coğrafi veri, sayısal yükseklik modelleri ve uzman inşaat ve yazılım mühendisleri, coğrafyacılar ve jeofizikçilerin iş birliğiyle geliştirilmiştir. Bu ekip, sahada kullanılmak üzere daha yaygın olarak kullanılan bir boyutlu modellerin sınırlarına ulaştığı durumlarda mühendislerin gerçek sonuçlara daha yakın sonuçlar elde etmelerini sağlayacak bir çözüm sunmak amacıyla bu modeli geliştirmiştir.



Resim 3.1. RAMMS tarafından üretilen örnek bir simülasyon sonucu (URL: <https://www.researchgate.net/figure/RAMMS>)

3.4.2. AVAL-1D programı

AVAL-1D, FL-1D yoğun akış çığları ve SL-1D toz kar çığları olmak üzere iki ayrı hesaplama modülü içerir, her ikisi de C programlama dilinde yazılmıştır. Her iki modül de kütle, enerji ve momentum korunum denklemlerini çözmek için sonlu farklar yöntemini uygulamaktadır. Program kullanıcı dostu olup parametrelerin girilmesine ve düzenlenebilmesine olanak tanır. Yoğun akış veya toz kar çığ durumları için benzeşim yapma imkânı mevcuttur. Resim 3.2’de bir örnek benzeşim görüntüsü verilmektedir.



Resim 3.2. AVAL-1D simülasyon örneği (URL: <https://www.slf.ch/en/services-and-products/aval-1d/>)

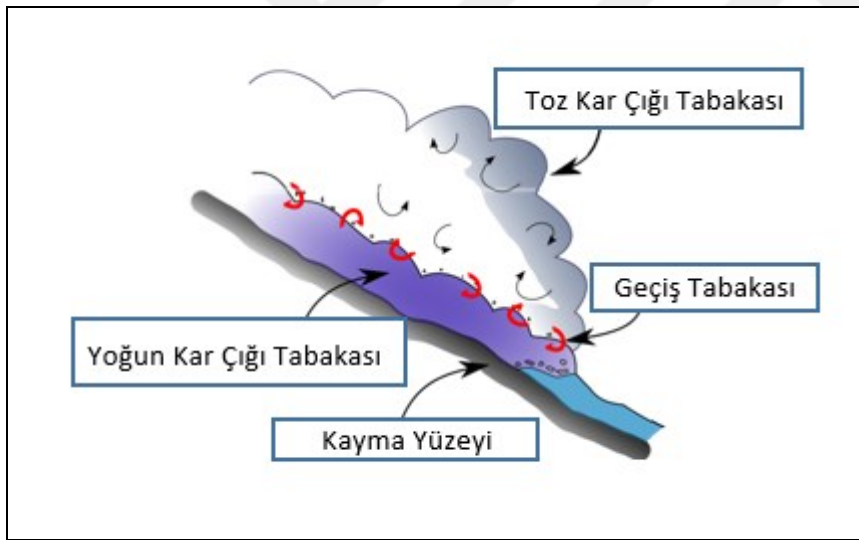
AVAL-1D program çıktıları; çığ güzergahı boyunca akış yüksekliği, hızı ve basıncıdır. Ayrıca çığın ulaştığı mesafeler ve çığ yatağının kütlesi, çığ animasyonu, kullanıcı tarafından seçilen çığ patikaları boyunca XY grafikleri, seçilen noktalarda profil grafikleri (yalnızca toz kar çığ simülasyonu ile), birden fazla simülasyonun üst üste bindirilmesi kullanıcılara programın sunduğu diğer olanaklardandır.

Programın kullanılabilmesi için sistem gereksinimleri Windows XP/7/8 ve üzeri olmalıdır. Programın 2024 yılı için tek kullanıcı lisans fiyatı 4000 İsviçre Frangıdır.

3.4.3. SamosAT programı

Kuru kar çığlarını simüle etmek için kullanılan SAMOS yazılımı, Avusturya Sel ve Çığ Kontrol Servisi tarafından 1999'dan beri kullanılmaktadır. Yazılım, yoğun akış kısmı için Coulombian ve türbülanslı alt sürtünme ile iki boyutlu, derinlik ortalamalı bir model ve toz kar kısmını oluşturan hava ve buz parçacıkları için üç boyutlu bir karışım modeline

dayanmaktadır. Resim 3.3'te gösterilen karışım modeli, havanın ve buz parçacıklarının ayrı kütle dengelerini ve momentum için tek bir dengeyi içermektedir. Ek olarak, türbülanslı enerji ve dağılım hızı için ek dengeler de göz önünde bulundurulmuştur. Yoğun akan karın üzerindeki momentum ve kütle transferinin bir benzetimi varsayılarak, yoğun akış yüzeyinin üzerindeki hareket eden kütle ile hareket eden üçgen bir ızgara, yoğun akış denklemlerinin sayısal çözümü için Lagrangean formülasyonda kullanılmıştır. Diğer yandan, toprak yüzeyine uyumlu olan üç boyutlu, hareketsiz (Euler) ızgara, hava ve buz karışımı için denklemleri çözmek için kullanılmıştır. Geliştirilmiş bir versiyon olan SAMOS-AT, 2007 yılında tamamlanmıştır. Yoğun akış sürtünme modeli değiştirilmiş ve artık türbülanslı sürtünme kısmı akış derinliğine de bağlıdır. Toz kar kısmı için karışım modeli, ayrı kütle ve momentum dengelemelerine sahip hava ve buz parçacıkları için tam iki fazlı bir modelle değiştirilmiştir. Geliştirilmiş model, yoğun akış denklemlerini çözmek için şimdi pürüzsüz parçacık hidrodinamiği yöntemi kullanılmaktadır (Peter Samp and Matthias Granig,2009).



Resim 3.3. SAMOS-AT modelinde varsayılan kuru kar çığının dikey tabaka yapısı(URL: https://www.researchgate.net/27igüre/Avalanche-layer-structure-assumed-in-the-SamosAT-model-The-dense-core-of-the-snow_fig1_261615016)

3.5. Çığ Koruma Yapısı

Çığ modelleri farklı amaçlar için kullanılabilir. Bunlardan birisi de dağın üst kotlarında kalıcı olarak planlanan ve çığın oluşumunu engelleyecek “çığ bariyerlerinin” planlanması aşamalarında kullanılmasıdır. Farklı senaryolar için çığ modelleri kurularak muhtemel sonuçları üzerinden çığ bariyerlerinin yerleşim durumları hakkında fikir elde edilebilir.

Bu bölümde Gazi-Çığ yazılımının “çığ bariyerlerinin” planlanmasında yardımcı olmak üzere çığın mekanik davranış sonuçları hakkında fikir vermesi amacıyla seçilmesi muhtemel koruma yapısına ait yükseklik ve genişlikleri hakkında nasıl kullanılabileceği ile ilgili bilgiler verilmiştir. Koruma yapılarına ait kısa teorik bilgilerde bu bölümde yer almaktadır.

3.5.1. Çığ koruma yapılarının amaç ve fonksiyonu

Çığ koruma yapıların amacı, kısaca çığların tetiklenmesini engellemek veya hasara yol açabilecek kar hareketlerini önlemektir.

Çığ koruma yapıları, yavaşça ilerleyen ve zaman zaman kayan kar tabakasına karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu yapılar, yamaçla yaklaşık olarak dik bir açıyla yerden sabitlenir ve karın yüzeyine kadar uzanır. Bu sayede yapıya doğru hareket eden karın hızı azalır, böylece bir fren etkisi oluşturur. Genellikle “geri basınç bölgesi” olarak adlandırılan bu alan, dikey kar yüksekliğinin en az 3 katı kadar bir mesafeyi içerir (bu uzaklık, kayma hareketinin büyük ölçüde tipine bağlıdır). Bu bölgelerde, eğimin doğrultusunda ek bir sıkıştırma gerilmesi oluşturur. Bu gerilmeler, destekleyici yüzey tarafından karşılanır, bu da kar levhalarının oluşumuna neden olan gerilme (ve olası gerginlik) streslerinin geri basınç bölgesinde azalmasına yol açar.

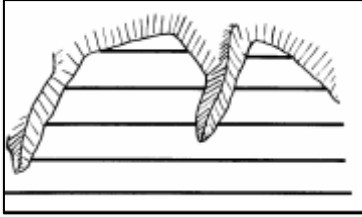
Yamaç topuğunda korunması gereken nesnelerin özellikleri ve bunların çığ başlama bölgesi, çığ güzergahı ve birikim bölgesine göre topografik konumları göz önünde bulundurulmalıdır.

Koruma yapılarının hem kar basıncını hem de dinamik kuvvetleri karşılaması gerekir. Yapıların boyutlandırılması, statik kar basıncına dayalıdır. Dinamik kuvvetlerin büyüklüğü ise yapıların uygun bir düzenlemesi ile etkilenebilir, böylece yapıların hiç veya çok az zarar görmesi sağlanır. Yapı, korunması gereken nesnelerin gereksinimlerine ve yerel kar, arazi ve zemin koşullarına göre seçilmelidir.

Çığ Koruma yapıları genellikle %58 ila %119 arasında (30° ile 50° arası) yamaç eğimleri için gereklidir. İstisnai durumlarda, başlama bölgesinde daha düz veya daha dik arazinin kontrol edilmesi gerekebilir örneğin yamaçların daha düz kesimleri gibi.

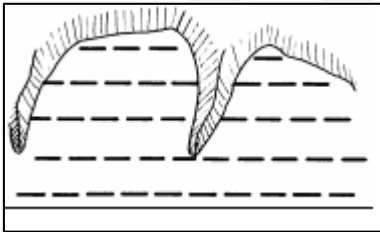
3.5.2. ığ koruma yapılarının genel düzeni

Sürekli ığ koruma yapıları, kontrollü bölgenin tamamına uzanan uzun yatay sıralardan oluşur. Sadece başlama bölgelerinden etkilenmeyen arazi kesimlerinde kesilirler. Sürekli yapılar, kalıcı koruma için tercih edilen düzenlemelerdir (Resim 3.4)



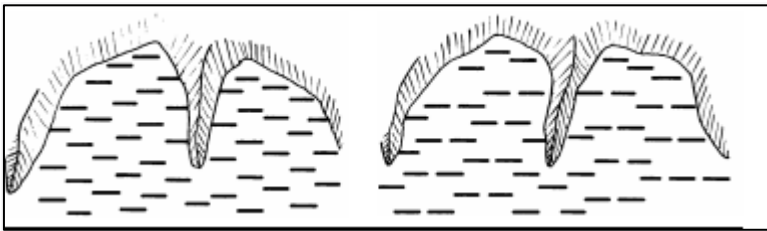
Resim 3.4. Sürekli ığ Koruma Yapıları

Koruma yapılarının tercih edilme sebepleri ve bazı dezavantajları izelge 3.2’de açıklanmıştır. Resim 3.5’te gösterilen kesikli çığ koruma yapıları, sürekli yapıların düzenlemesini, yatay sıralarda boşluklar ekleyerek türetilen bir düzenlemeye sahiptir.



Resim 3.5. Kesikli ığ Koruma Yapıları

Resim 3.6’da gösterilen şaşırtmalı çığ koruma yapıları, kesikli koruma yapılardan farklıdır, çünkü bireysel kesimler yükseklik açısından sırayla değişir ve farklı konumlandırılmıştır.



Resim 3.6. şaşırtmalı koruma yapıları

Çizelge 3.2. Çığ Koruma Yapılarının Genel Düzenlerinin Avantaj ve Dezavantajları

	Avantaj	Dezavantaj
Sürekli koruma yapıları	• Kar örtüsündeki kesme çatlaklarının yayılması, yukarı ve aşağı yönler sıraların ötesinde büyük ölçüde engellenir. • Kar kaymalarına karşı sürekli bir engel. • Kar örtüsündeki gerilme stresleri büyük ölçüde engellenir. • Yapıların yüklenmesi, sadece sıraların uçlarında (kar basıncından kaynaklanan toplam yüklemeyi minimumda tutar) uç etki yükleri ile sınırlıdır.	• Kar örtüsünde geriye kalan kesme ve gerilme bölgelerinin büyük ölçekli yan dağılımı. • Yapılara zararın yan yönde yayılma olasılığı. • Şiddetle düzensiz araziye ve kar koşullarındaki büyük yerel değişikliklere sınırlı uyum (kullanılan yapı türüne bağlı olarak daha fazla veya daha az önemli).
Kesintili koruma yapıları	• Yatay arazi özelliklerine ve yerel kar koşullarının değişimine iyi bir yatay uyum sağlar. • Bireysel kesimlerde hasarın sınırlanması. • Olası maliyet tasarrufu (sürekli yapılarla karşılaştırıldığında).	• Yapılardaki boşluklar arasında karın kısmi etkisi. • Yapıların yüklenmesi, yapılar arasındaki mesafeye bağlı olarak son etki yükleri tarafından belirlenir. • Kar örtüsündeki kesme çatlaklarının sıraların ötesinde yukarı ve aşağı yönler yayılma olasılığı daha yüksektir (sürekli yapıya kıyasla).
Çapraz koruma yapıları	• Tüm yönler karşı araziye iyi bir uyum sağlar. • Geriye kalan gerilme ve kesme stres bölgelerinin dağıtılması. • Ortalama olarak, sürekli, ayrılmış ve kesikli düzenlemelere kıyasla daha az kar kayması sağlar.	• Metre başına daha yüksek maliyet (sürekli ve ayrılmış kesikli yapılarla kıyaslandığında). • Kesme çatlaklarının her yönde yayılma olasılığı.

3.5.3. Çığ koruma yapıları tasarım hesabı

Kar yüksekliği H , arazide düşey yönde ölçülen (Şekil 3.7) kar örtüsünün önemli bir özelliğidir. Rasatlardan elde edilen kar yüksekliklerinin değişimi bölgede çığ önlem planlamışında oldukça önemlidir. Bu nedenle İsviçre’de planlama çalışmalarında kullanılmak üzere aşağıda tanımları verilen ($H_{\max}$) ve (H_{ext}) değerleri dikkate alınmaktadır. Bunlar;

- Maksimum kar yüksekliği ($H_{\max}$): Kış boyunca belirli bir noktada (örneğin, bir destekleyici yapının bulunduğu yer) karın maksimum yüksekliğidir.
- Ekstrem kar yüksekliği (H_{ext}): Belirli bir noktada (örneğin, bir destekleyici yapının bulunduğu yer) uzun bir süre boyunca meydana gelebilecek maksimum kar yüksekliği $H_{\max}$ 'in beklenen maksimum değeridir.

Yapı tasarımında önemli rol üstlenen kar kalınlığı, Resim 3.7'de gösterildiği gibi yamaç yüzeyine dik olarak ölçülen kar örtüsünün yüksekliğidir ve sembolü D (D , $D_{\max}$, D_{ext} , vb.) ile belirtilir. Kar kalınlığı D , aşağıdaki gibi kar yüksekliği H 'nin bir fonksiyonudur.

$$D = H * \cos(\psi) \quad (3.21)$$

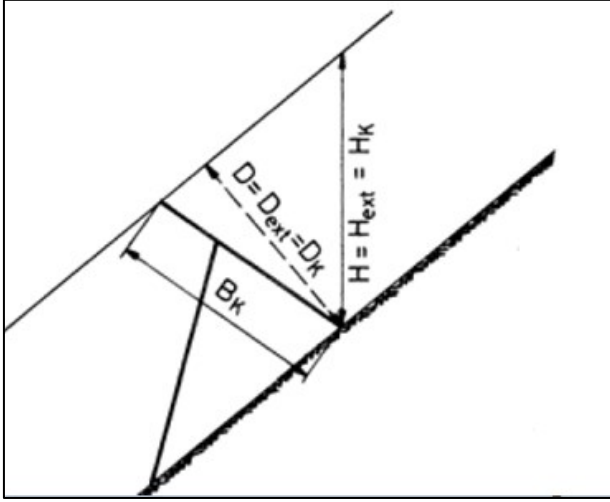
Çığ koruma yapısının yüksekliği H_K , destekleyici yüzeyin üst kenarından yer yüzeyine kadar olan ortalama dikey mesafe olarak tanımlanır.

Yapı yüksekliği H_K , destekleyici yapının bulunduğu yerde beklenen en az ekstrem kar yüksekliği kadar olmalıdır.

$$H_K \geq H_{\text{ext}} \quad (3.22)$$

Bu eşitlik, doğal felaketler sırasında çığlardan koruma sağlamak için yerine getirilmesi gereken temel koşuldur ve koruma yapılarının boyutlandırma prosedürlerini belirlemektedir. Eğer H_K , H_{ext} 'ten büyükse, destekleyici yapılar H_K 'ya göre boyutlandırılmalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir husus ise, destekleyici yapıların tasarımına ve rüzgâr koşullarına bağlı olarak, bu yapıların kar birikim miktarı üzerinde ciddi bir etkisi olabileceğidir.

Yapıların maksimum kar basıncının statik etkisinden kaynaklanan kuvvetlerden zarar görmemesi gerekir. Benzer şekilde, kar hareketinin neden olduğu dinamik yükler zarar vermeden taşınmalıdır. Destekleyici yapı içindeki kar hareketinin hızı belirli bir sınırlayıcı değeri aşmamalıdır. Hareketin enerjisi, yapının altındaki binalara zarar vermeden önce oluşturacağı değerin altında sınırlanır.

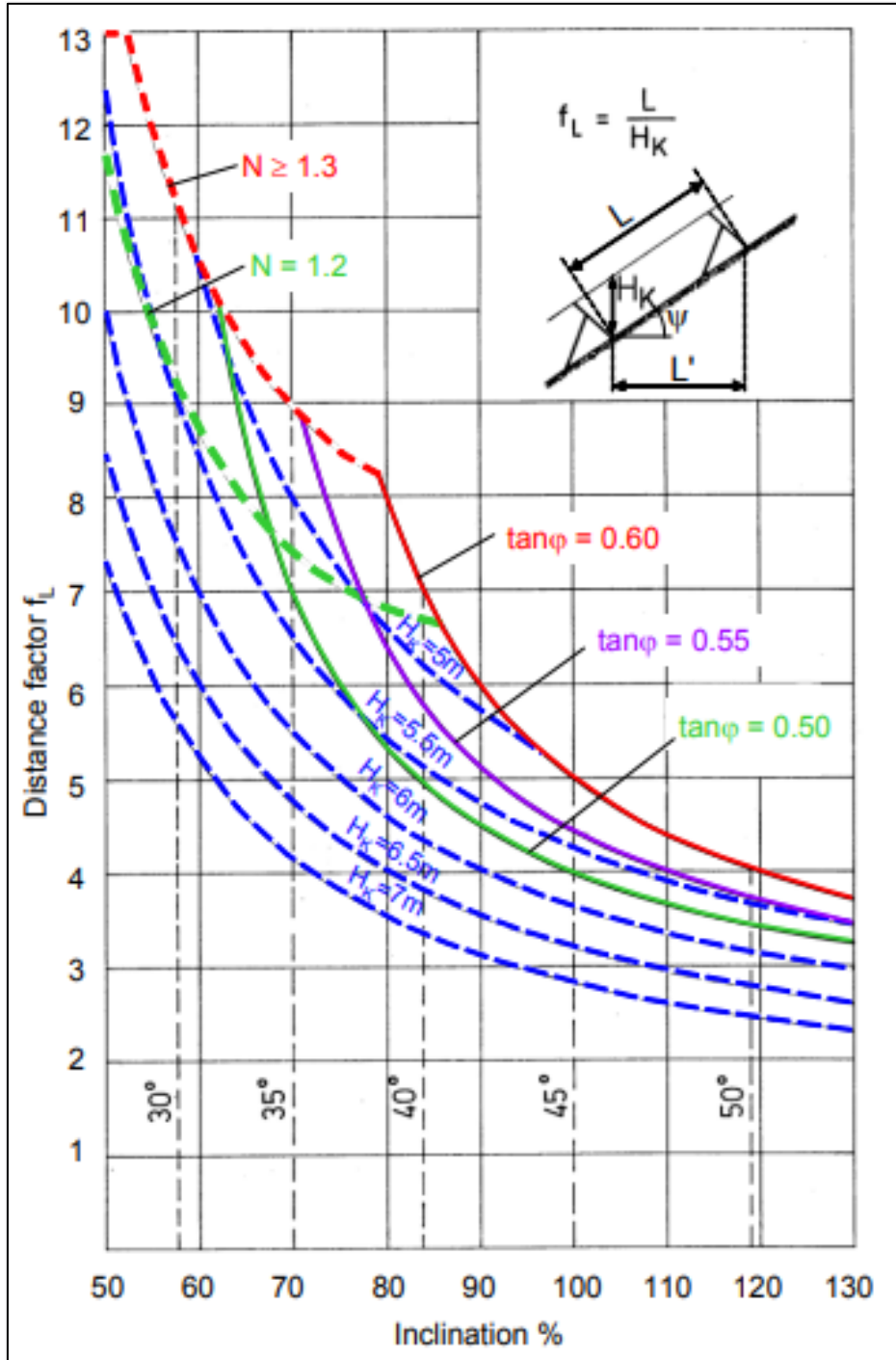


Resim 3.7. Çığ Koruma Yapısı Görünüm

Eğim hattındaki L mesafesi yani yapıların birbiri arasındaki mesafe Eşitlik (3.23)'e göre hesaplanır.

$$L = f_L * H_K \quad (3.23)$$

Burada f_L mesafe faktörü, yamaç eğimine ve zemin ile kar arasındaki sürtünme açısına (φ), kayma faktörüne (N) ve yapının yüksekliğine (H_K) bağlıdır. f_L faktörü, Resim 3.8 yardımı ile belirlenebilir. Verilen koşullar altında f_L 'nin değeri, üç farklı değişkenin $\tan \varphi$, N ve H_K arazideki değerleri dikkate alınarak tespit edilmelidir.



Resim 3.8. Mesafe faktörü f_L 'nin tespiti (Margreth ve diğerleri,2015)

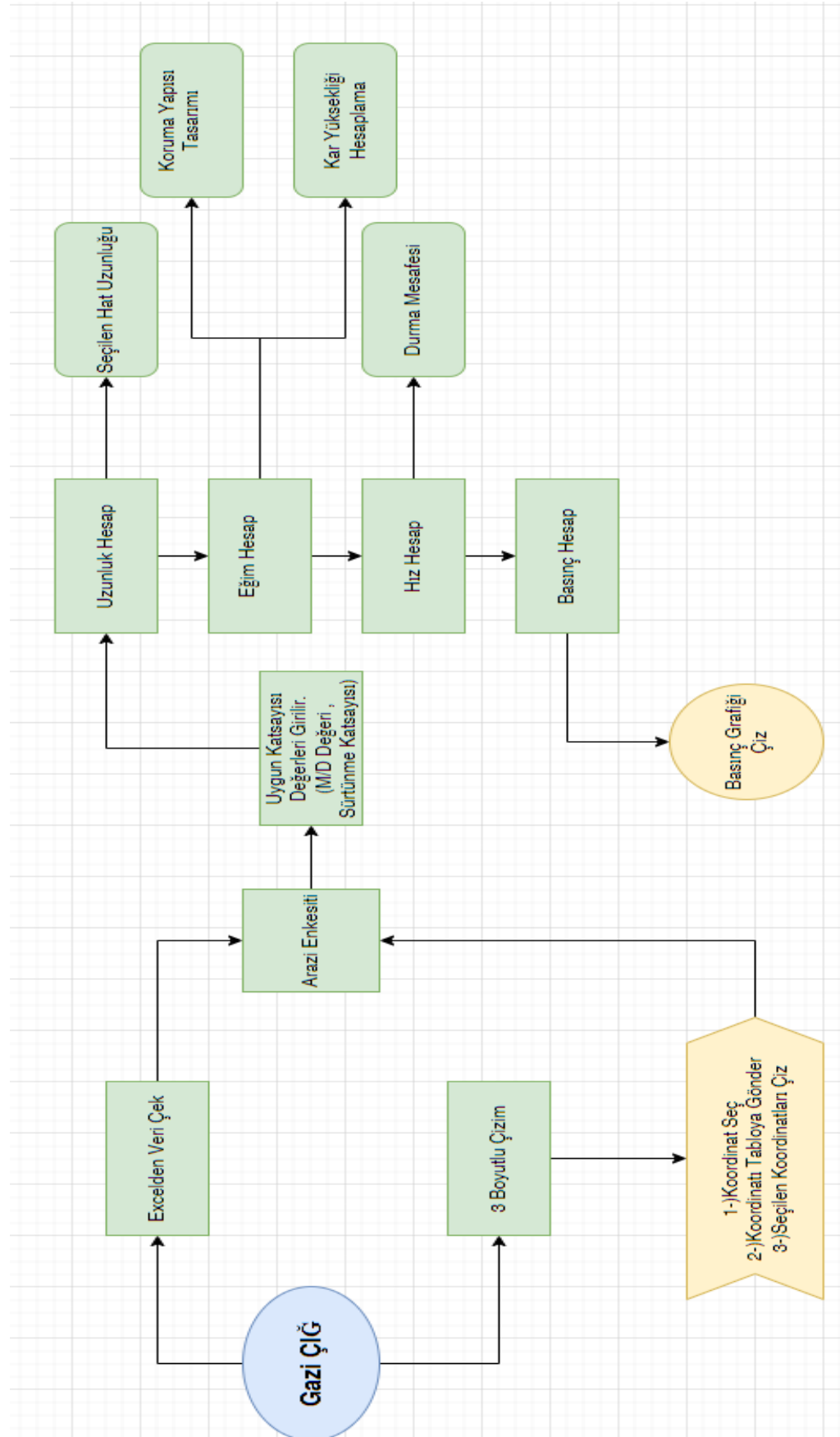


4. GAZİ ÇIĞ YAZILIMININ TANITILMASI

Ülkemizde oluşan çığlara ait olayların bilgisayar üzerinde benzeşim model çalışmaları genellikle yurtdışından temin edilen yazılımlar sayesinde yapılabilmektedir. Çığ model yazılımlarının literatür geçmişi incelendiğinde başta İsviçre olmak üzere çığ ile sorun yaşayan Avusturya, Fransa, İtalya, Norveç, Rusya ve A.B.D. gibi ülkeler kendi modellerini hazırlama çalışmalarının devam ettiği görülmektedir. Bu alanda İsviçre öncü çalışmalara başlamış, akademik ve uygulama tecrübeleri oldukça ilerlemiştir. Bununla birlikte Avusturya ve Norveç yeni modeller için çalışmalar yapmaktadır. Bu kapsamda ülkemizde 1990'lı yılların başından bu yana çığ afetine hazırlık, tahmin ve önlem çalışmaları kapsamında ihtiyaç duyulan kullanıcı dostu bir modelin (yazılımın) hazırlanması ve doğrulanması gerekmektedir. Bu amaçla bu tez kapsamında oluşturulan “Gazi Çığ” yazılımına ait detaylar bu bölüm içerisinde açıklanmıştır. “Gazi Çığ”ın kurulumu, kullanımı ve model sınırları ile birlikte kullanılırken dikkat edilmesi gereken durumlar bu bölüm içerisinde sunulmuştur.

Gazi Çığ programını oluşturan alt işlemler ve program içerisindeki akış Çizelge 4.1’de açıklanmıştır. Burada ilk bölüm veri girişi, ikinci bölüm ise programın oluşturduğu sonuçlardır.

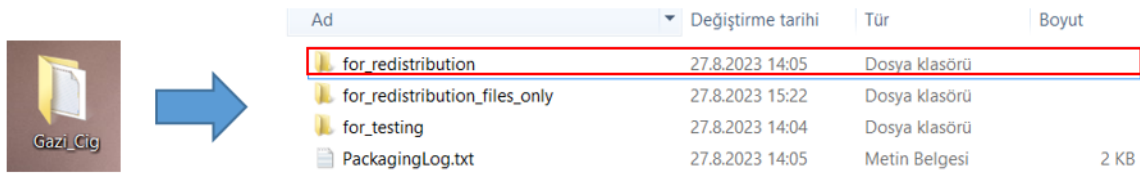
Çizelge 4.1. Gazi Çığ yazılımının akış şeması



4.1. Gazi Çığ Yazılımın Kurulması

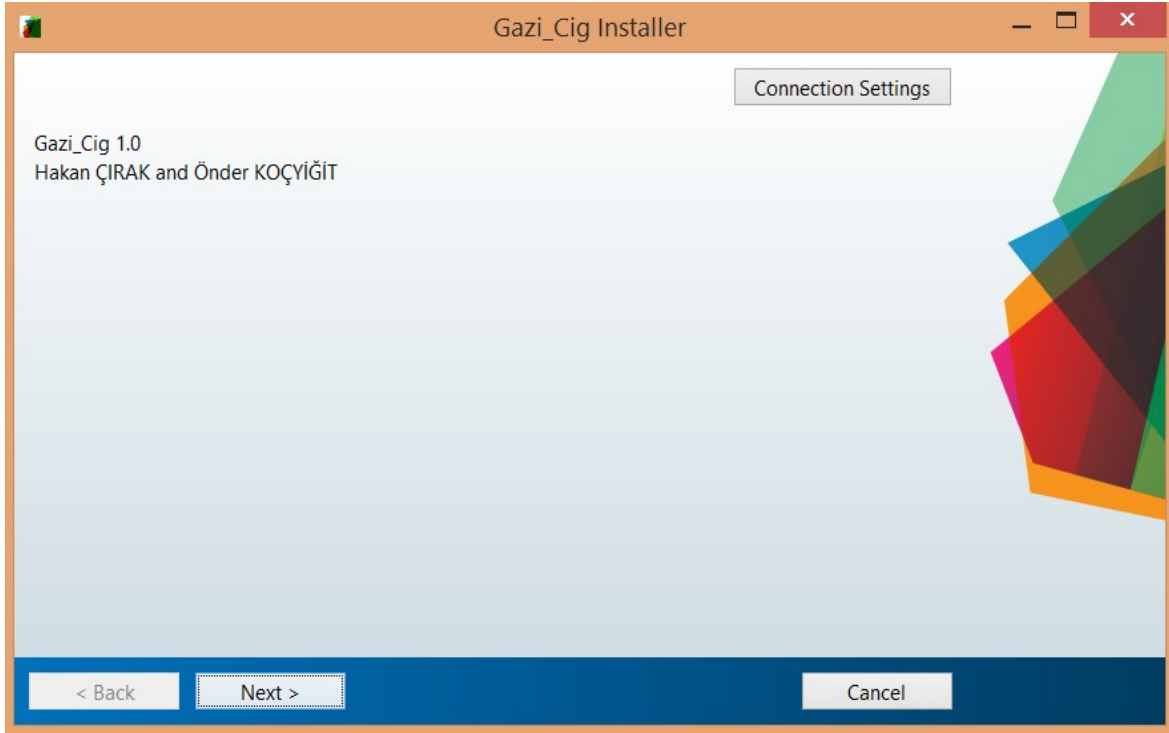
Matlab ortamında hazırlanan Gazi Çığ programı masaüstü veya dizüstü bilgisayarlarda çalışabilmesi için exe dosyası haline getirilmiştir. Program Windows işletim sistemi üzerinde çalıştırılmıştır. Diğer işletim sistemleri üzerinde henüz bir deneme yapılmamıştır. Programın çalışabilmesi için bilgisayarda Matlab programının kurulu olmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

İlk olarak Resim 4.1 de masaüstünde bulunan Gazi_Cig dosyası açılır. Eğer bilgisayarda Matlab Kurulu değilse “for_redistribution” klasörüne girilerek kurulum gerçekleştirilir böylece bilgisayarda Matlab programına ihtiyaç duyulmadan Gazi Çığ Yazılımın çalışması sağlanmaktadır. Hali hazırda bilgisayarda Matlab programı kuruluysa for_redistribution klasörüne girilip kurulum yapılmasına ihtiyaç yoktur.



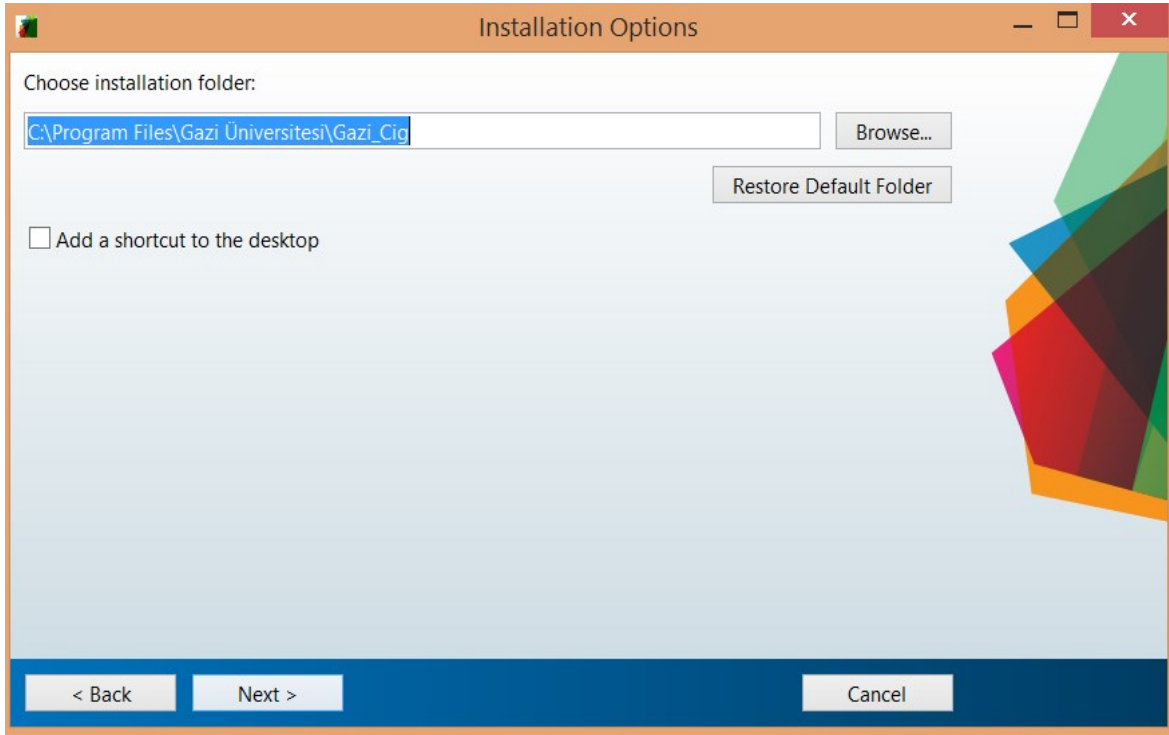
Resim 4.1. Bilgisayar masaüstünde bulunan Gazi_Cig klasörü ve içeriği

Bilgisayarda Matlab programının kurulu olmadığı düşünülerek ilk olarak for redistribution klasörüne girilir ve klasörün içerisindeki “MyAppInstaller_mcr.exe” dosyası çalıştırılır. Programın bu bilgisayarda değişiklik yapmasına izin veriyor musunuz sorusuna evet cevabı verilir. Resim 4.2 de görünen kurulum ekranı açılır. Bu pencerede programın ismi Gazi_Cig 1.0 versiyonu görülmektedir. Programın kurulumuna devam edilebilmesi için açılan pencerenin alt tarafında bulunan Next tuşuna tıklanır.



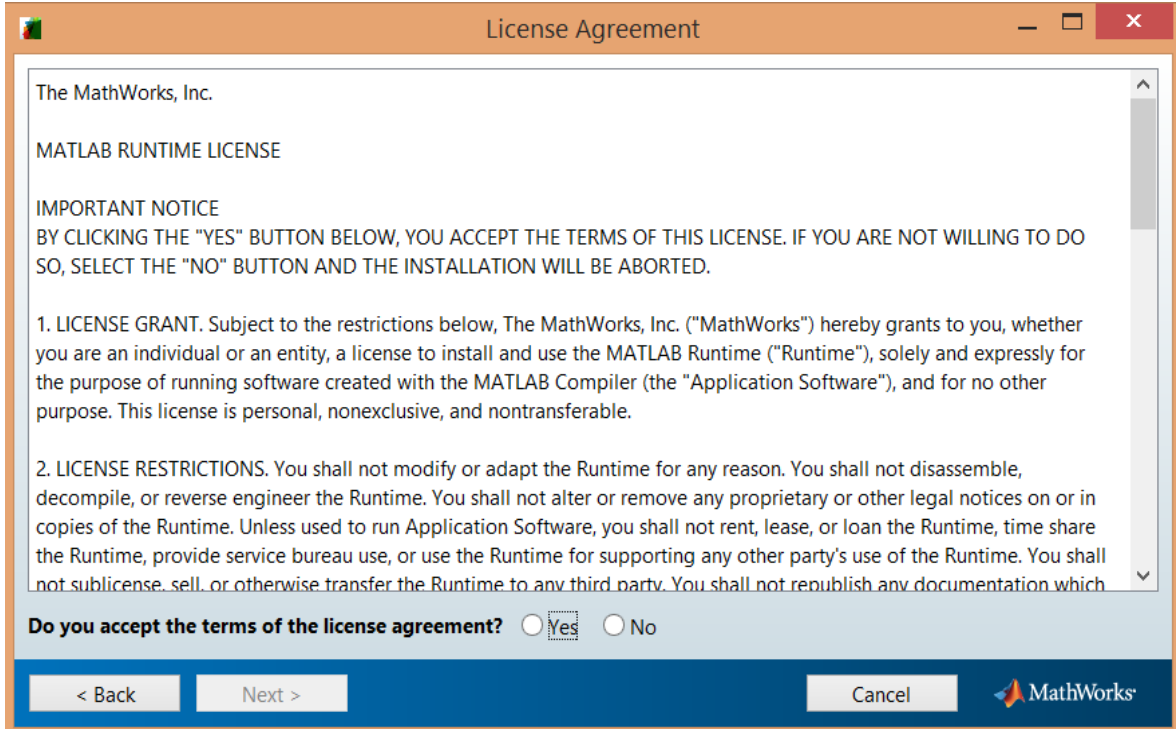
Resim 4.2. MyAppInstaller_mcr.exe dosyasının kurulum ekranı

Bir sonraki pencerede Resim 4.3'te gösterildiği gibi kurulacak program dosyasının bilgisayar içerisindeki adresi seçilmelidir. Kurulacak yer seçilirken dosya isminin Türkçe karakter içermemesi önem arz etmektedir.



Resim 4.3. MyAppInstaller_mcr.exe dosyasının kurulum klasörü seçimi

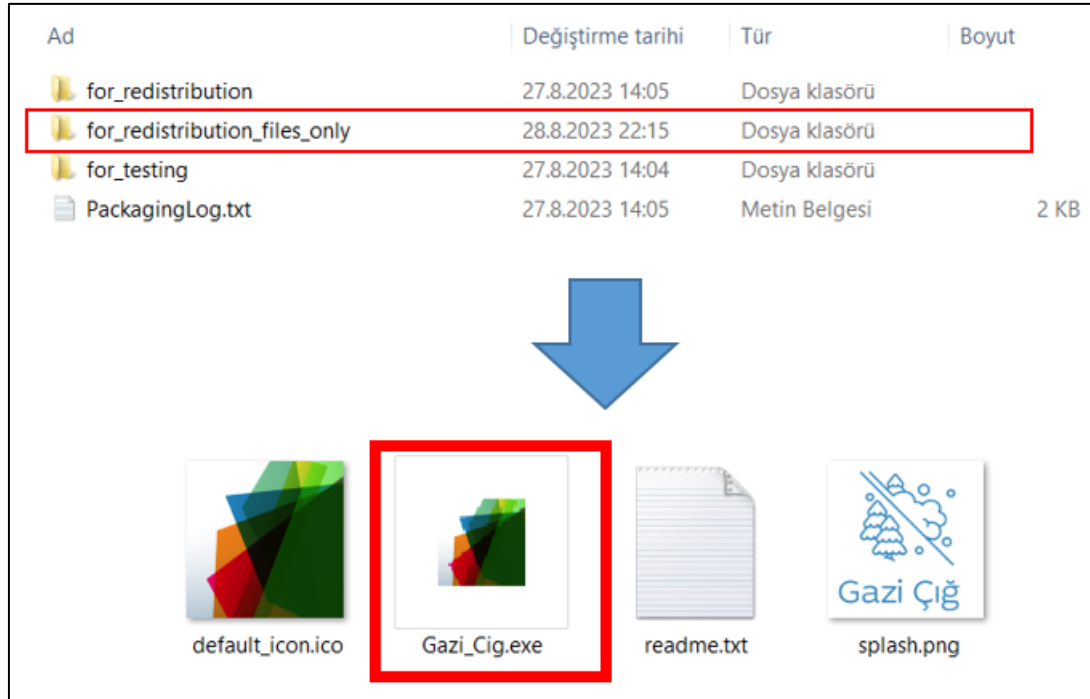
Klasör yolu seçildikten sonra Next tuşuna basılır. Resim 4.4 de görüldüğü gibi lisans sözleşmesi penceresi açılır. Lisans sözleşmesinin şartlarını kabul etmek için Yes butonu işaretlenir ve Next tuşuna basılır ardından kısa bir bekleme süresi sonrası kurulum gerçekleşir. Bu kurulum gerçekleştikten sonra Gazi Çığ yazılımının çalışabilmesi için bilgisayarda Matlab programının kurulu olmasına gerek yoktur.



Resim 4.4. Kurulum için Lisans anlaşması

4.2. Gazi Çığ Yazılımının Çalıştırılması

Bilgisayarda Matlab programı kurulu değilse Bölüm 4.1 de anlatılan kurulum gerçekleştirilir. Kurulum yapıldıktan sonra veya bilgisayarda Matlab programı kuruluysa masaüstünde bulunan Gazi_Cig klasörüne giriş yapılır. Resim 4.5 görüldüğü şekilde for_redistribution_files_only klasörüne giriş yapılır ve açılan pencerede Gazi Çığ yazılımının “exe” hali olan “Gazi_Cig.exe” dosyasına tıklanır.



Resim 4.5. Gazi Çığ exe dosyasının çalıştırılması

Gazi_Cig.exe dosyasını çalıştırdıktan kısa bir süre sonra kullanıcının karşısına programın Resim4.6 da görünen logosu görülmektedir.



Resim 4.6. Gazi Çığ yazılımı logosu

Logo görüldükten kısa bir süre Resim 4.7 de görüldüğü gibi Gazi Çığ yazılımı çalıştırılmış olup kullanıma hazır durumdadır.

Untitled 1

gazi

Türkçe
English

X Koordinatı	Y Koordinatı	Z Koordinatı
1		
2		
3		
4		

Excel'den Veri Çık

Uzunluk	Eğim	Eğim Radyanı	Hız
1			
2			
3			
4			

Uzunluk Hesap
Eğim Hesap
Hız Hesap
Basınç Hesap

Arazi Enkesiti

Basınç Grafiği Çiz

Koordinat Alın

3 Boyutlu Çözüm

3 Boyutlu Çözüm (2)

Koordinat Seç

X:

Y:

Z:

Koordinat Tabloya Gönder

Koordinat Tabloya Gönder

Seçilen Koordinatları Çöz

Koruma Yapısı Tasarımı

Başlama Bölgesi Hangi Noktaya Kadar

H Extrem Değer

H Extrem Değer Rakımı

Tasarım Yapısı Yüksekliği

Mesafe Faktörü FL

Koruma Yapısı Hesabı Yap

Katsayılar

IMO Değeri

Sürünme Katsayısı

Katsayılar İçin Öneri

Kar Yüksekliği Hesaplama

Başlama Bölgesi Hangi Noktaya Kadar

3 Gündelik Kar Yağışının Birleme Oranı

X:

Y:

Z:

1. Nokta

2. Nokta

Seçilen Noktalar Arası Mesafe

Başlangıç Alanı Genişliği

Türbülanslı Sürünme Faktörü

Kalı Sürünme Katsayısı

P Noktası

P Noktası Kar Derinliği

P Noktası Alan Genişliği

Yükseklik Hesapla

Durma Mesafesi

Seçilen Hatt Uzunluğu

Basınç Grafiğini Temizle

Tabloyu Temizle

Static Text

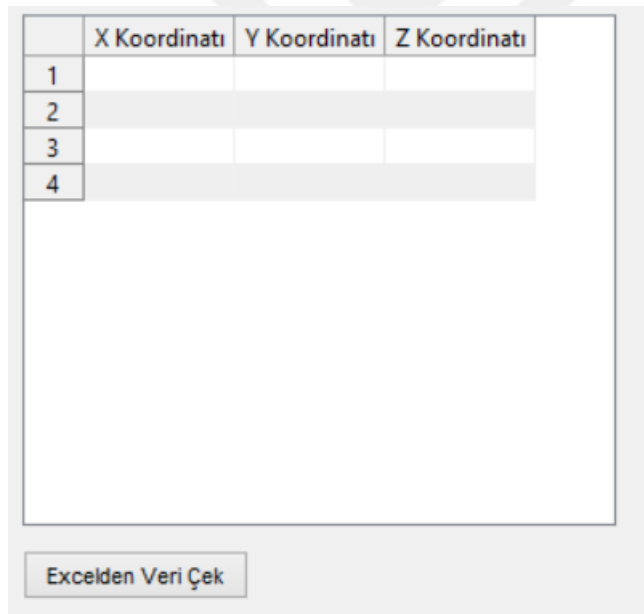
static text

Resim 4.7. Gazi Çiğ yazılımının genel görünümü

4.3. Gazi Çığ Yazılımının Kullanılması

4.3.1. Excel veri çek butonu kullanılması

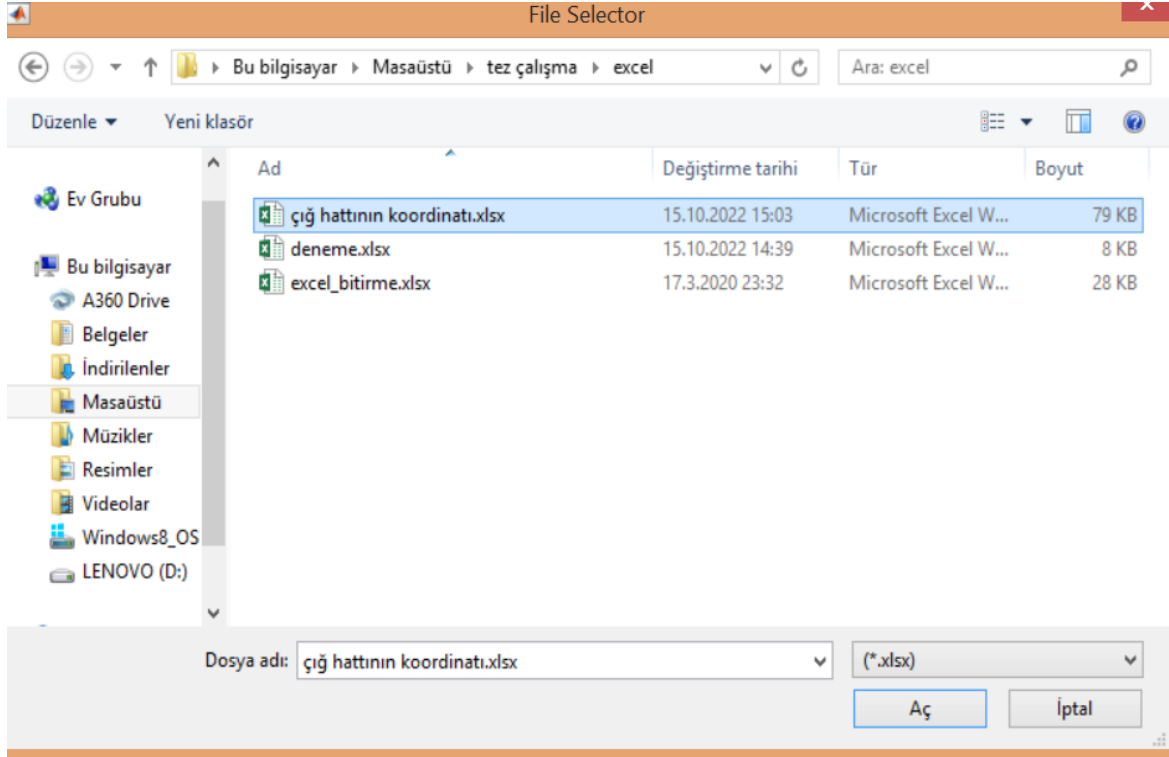
Gazi Çığ yazılımının kullanılabilmesi için en önemli noktalardan bir tanesi verilerin alınabilmesidir. Programa veri girişinin yapılması için ilk noktalardan bir tanesi Resim 4.8 de görünen Excelden veri çek butonudur. Bu butonun kullanım amacı çığ güzergahına ait verilerin bir şekilde elde edilip bu verilerin Excel dosyasına x koordinatı , y koordinatı ve z koordinatı şeklinde işlenmiş olması gerekmektedir. Excel dosyasına işlenen bu verilerin gerekli hesaplamalar yapılabilmesi için programa tanıtılması gerekmektedir. Bu tanıtılma işlemi de Excelden Veri Çek butonuna basılarak Resim 4.9 görülen gerekli Excel dosyasının seçilmesi sonucu verilerin programa aktarılması sonucu gerçekleşmektedir.



	X Koordinatı	Y Koordinatı	Z Koordinatı
1			
2			
3			
4			

Excelden Veri Çek

Resim 4.8. Excel'den Veri Çek butonu



Resim 4.9. Gerekli Excel Dosyasının seçilmesi

Excelden veri çek butonuna basılıp ve gerekli Excel dosyasının seçimi tamamlandıktan sonra Resim 4.10 görüldüğü gibi gerekli verilerimiz programa dahil edilmiş olmaktadır.

	X Koordinatı	Y Koordinatı	Z Koordinatı
1	40.3831	40.5095	2.7432e+03
2	40.3834	40.5094	2.7485e+03
3	40.3838	40.5092	2.7615e+03
4	40.3841	40.5091	2.7676e+03
5	40.3845	40.5090	2.7760e+03
6	40.3848	40.5089	2.7789e+03
7	40.3851	40.5088	2.7846e+03
8	40.3854	40.5088	2.7883e+03
9	40.3856	40.5088	2.7922e+03
10	40.3859	40.5088	2.7960e+03
11	40.3861	40.5088	2.7956e+03
12	40.3864	40.5088	2.7947e+03

Excelden Veri Çek

Resim 4.10. Excel'den Veri Çek butonu yardımıyla veri alınması

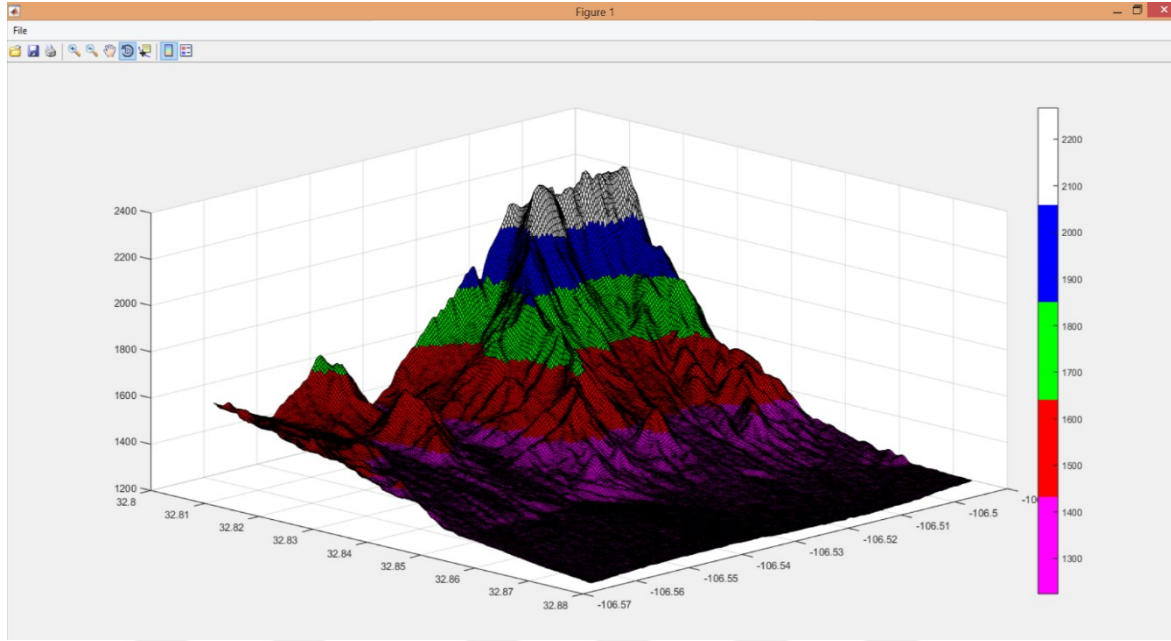
4.3.2. Koordinat alma panelinin kullanılması

Koordinatlar hazır bir şekilde dışardan Excel ortamından alınmayıp kullanıcı tarafından istenilen şekilde seçilerek programa tanıtılması kısmı bu panelden gerçekleştirilmektedir. Panelin genel görünümü Resim 4.11 de gösterilmektedir.



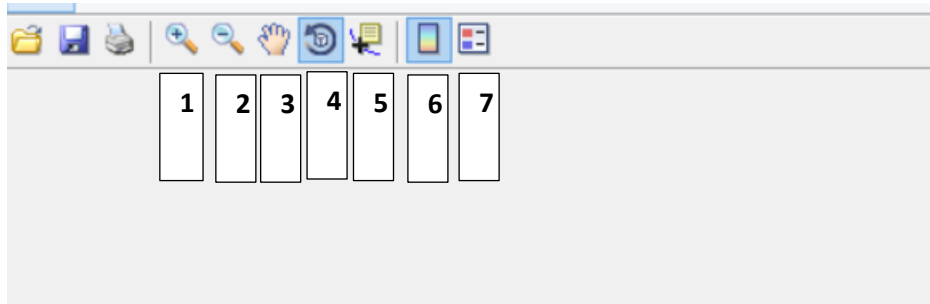
Resim 4.11. Koordinat Alma Paneli genel görünümü

Bu panelin çalışabilmesi için kullanıcının elinde seçim yapmak istediği araziye ait DEM (Digital Elavation Model) verisi olması gerekmektedir. 3 Boyutlu Çizim butonuna tıklanarak istenilen DEM verisi seçilerek programa tanıtılır ve program bu arazi modelini kullanıcın daha rahat anlayabileceği şekilde 3 boyutlu arazi modellemesi haline getirmektedir. 3 Boyutlu Çizim (2) butonunda 3 Boyutlu Çizim butonuyla aynı işlevi görmektedir. Bu butonun eklenme amacı DEM verisinde koordinatların dosyada saklanma isimleri farklı olabilmektedir örneğin 3 Boyutlu Çizim butonu DEM verisinde koordinatlar XWorld_Limit şeklinde bulunmaktadır. 3 Boyutlu Çizim (2) butonun da ise koordinatların saklandığı dosyanın ismi Latitude_Limits şeklinde bulunmaktadır. Arazi verilerinin program tarafından doğru bir şekilde çalıştırılabilmesi ve hatanın önüne geçilebilmesi için iki ayrı buton eklenmiştir. 3 Boyutlu Çizim veya 3 Boyutlu Çizim (2) butonlarından herhangi birine tıklanıp istenilen DEM verisi seçildikten sonra Resim 4.12 de görüldüğü gibi arazinin 3Boyutlu modellemesi kullanıcı tarafından görüntülenebilir.



Resim 4.12. DEM Verisinin 3 Boyutlu Hale getirilmesi

3 Boyutlu hale getirilen arazi modelinin kullanıcı tarafından rahat bir şekilde seçim yapılabilmesi için aynı pencerede sol üst köşede bulunan araçlarla işlem yapılabilmektedir. Bu araçlar Resim 4.13 de gösterilmektedir.



Resim 4.13. Arazi modelinde rahat seçim yapılabilmesi için araçlar

Resim 4.13'te 1 numara ile gösterilen Büyüteç artı aracı ile yaklaşmak istenilen bölgeye yaklaşma işlemi yapılır. 2 numara ile gösterilen Büyüteç eksi aracı ile de uzaklaşmak istenilen bölgeden uzaklaşma işlemi yapılabilmektedir. 3 numara ile gösterilen El aracı ile de harita istenilen bölgeye sürüklenebilmektedir. 4 numara ile gösterilen Rotate 3D aracı ile harita kullanıcının isteği doğrultusunda döndürülebilmektedir 5 numara ile gösterilen Data Cursor aracı ile kullanıcı harita üzerinde istediği yerin koordinat değerlerinin gösterilmesini sağlamaktadır. 6 numara ile gösterilen insert colorbar aracı ile arazi modelinin yanında bulunan yükseklik değerlerine bağlı olarak değişen renklerin hangi yüksekliklere ait olan

çubuğun kapatılıp açılmasını sağlamaktadır. 7 numara ile gösterilen Insert legend aracı ile lejant eklenebilmektedir.

DEM verisi kullanıcı tarafından programda açıldıktan sonra Resim 4.14 görüldüğü gibi Koordinat seç butonu yeşil renk olmakta ve kullanıcıya koordinat seçerken yol gösterilmektedir.



Resim 4.14. Koordinat Seç Butonunun Aktif Olması

Koordinat seç butonuna basılır ve ardından arazi modeli üzerinden istenilen nokta seçilir ve tekrardan koordinat alma paneline gelinir boş bir alana bir kez tıklanır. Resim 4.15 de görüldüğü gibi X, Y ve Z koordinatları kutucuklara gelmiş olur. Gelen koordinatlar üzerinde gerekli hesaplamaların yapılabilmesi bu koordinatları bir tabloya kaydetmek gerekmektedir. Bu kaydetme işlemi de Excel verilerini aldığımız tablo ile aynı yer olmaktadır. Kullanıcıya kolaylık sağlama açısından Resim 4.15 görüldüğü gibi Koordinatı Tabloya Gönder butonu yeşil olmakta koordinat seç butonu kırmızı olmaktadır. Böylece kullanıcının ne yapması gerektiği renklerle gösterilmektedir. Koordinatı Tabloya Gönder butonuna basıldığında Koordinat seç butonunun tekrardan yeşil Koordinatı tabloya gönder butonunu ise kırmızı olmaktadır.

Resim 4.15. Koordinatı Tabloya Gönder Butonunun Aktif Olması

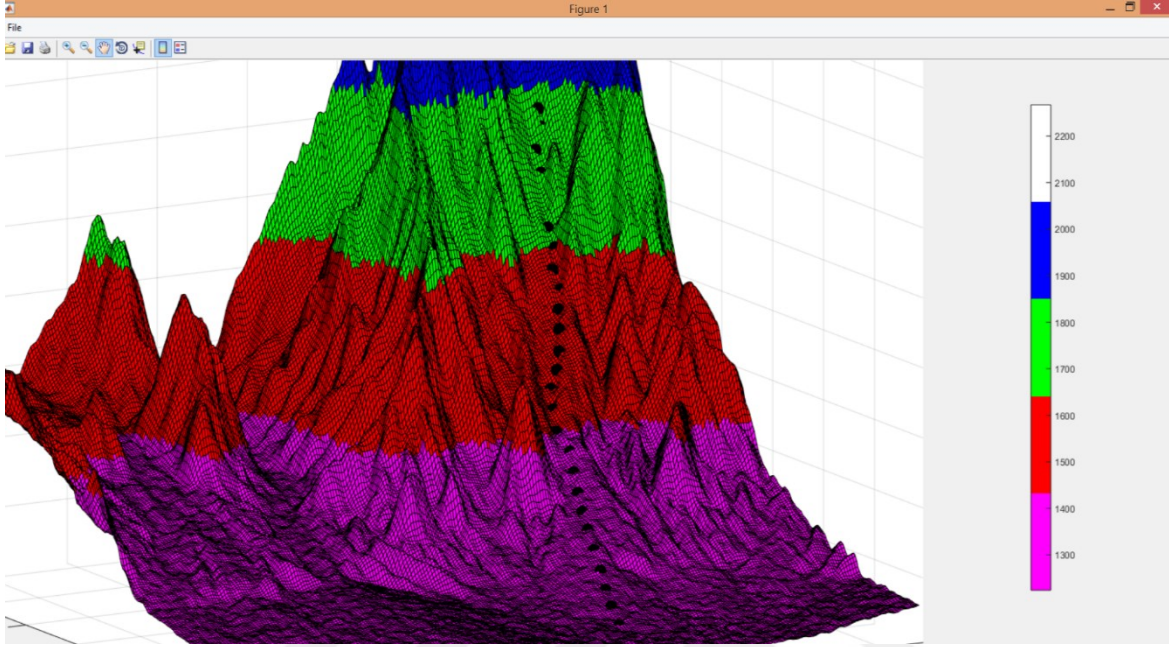
Koordinatı Tabloya gönder butonuna basıldığında Resim 4.15 de görülen koordinatlar Resim 4.16 görülen Tabloya gönderilmektedir.

	X Koordinatı	Y Koordinatı	Z Koordinatı
1	32.8191	-106.5040	1.8160e+03

Resim 4.16. Seçilen Koordinatın Tabloya Gönderilmesi

Bu anlatılan işlemler kaç tane nokta seçilmek istenilirse tekrarlanır ve seçilen noktalar tabloya kaydedilmiş olmaktadır. Harita üzerinde el aracı ile hareket edince veya Rotate 3D aracı ile döndürme işlemi uygulandığında en son seçilen nokta kaybolmaktadır. Bu noktanın görülebilmesi için Koordinat Alma panelinin içine Seçilen Koordinatları Çiz butonu eklenmiştir. Böylece en son seçilen nokta ve daha önce seçilen noktalar da getirilerek kullanıcının kaldığı yerden nokta seçmesi sağlanmaktadır. Eğer kullanıcının istediği tüm noktalar seçilmiş ve bu seçtiği noktaları görmek istiyorsa yine Seçilen Koordinatları çiz

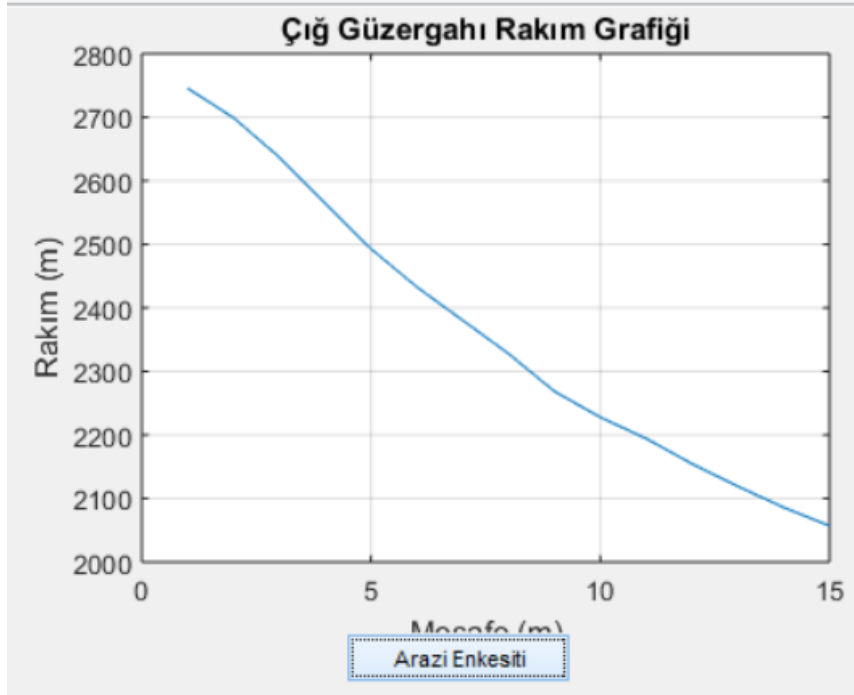
butonuna basılarak Resim 4.17 görüldüğü gibi seçilen tüm noktalar siyah noktalar halinde kullanıcıya gösterilmektedir.



Resim 4.17. Seçilen Noktaların Siyah Noktalar Halinde Harita Üzerinde Gösterilmesi

4.3.3. Arazi enkesiti butonunun kullanılması

3 Boyutlu Çizim butonu aracılığıyla açılan arazi modeli üzerinde kullanıcı tarafından seçilen noktalar bir çizgi hattı güzergâhı oluşturmaktadır. Bu çizgi hattı güzergâhının en kesitini görmek için arazi enkesiti butonuna basılmaktadır. Resim 4.18 de çizilen bir çizgi hattı güzergâhının y ekseninde rakım x ekseninde ise mesafe değerleri metre cinsinden gösterilmektedir. Böylece kullanıcı seçtiği çizgi hattının en kesitini görerek arazide meydana gelen değişimleri genel anlamda görebilmesi sağlanmıştır.



Resim 4.18. Çığ Güzergahı Rakım Grafiği

4.3.4. Uzunluk hesap ve eğim hesap butonunun kullanılması

Kullanıcının arazi üzerinde seçtiği her bir noktanın kendisinden hemen sonra gelen noktaya olan uzaklığının hesaplanıp kullanıcıya gösterilmesi için uzunluk hesap butonu eklenmiştir. Böylece kullanıcı seçtiği her bir noktanın kendisine komşu olan noktalar arası uzaklığı görebilmekte ve eğim değişikliklerinin hangi mesafelerde değiştiğini görebilmesi sağlanmıştır. Resim 4.19 da uzunluk değerleri örneği gösterilmektedir.

Kullanıcının arazi üzerinde seçtiği noktaların eğim değerlerinin gösterilmesi için eğim hesap butonu eklenmiştir. Böylece kullanıcı eğim değerlerini görebilmekte ve seçtiği noktanın çığ hattının başlama, hızlanma ve durma bölgesinde olup olmadığına kendisinin karar verilmesi amaçlanmaktadır. Arka planda hesap kısmında kullanılan eğim radyan değerleri de eğim hesap butonuna basıldığında eğim değerleri ile birlikte kullanıcıya gösterilmektedir. Resim 4.19 da eğim ve eğim radyan değerleri örneği gösterilmektedir.

	Uzunluk	Eğim	Eğim Radyan	Hız
1	104.0850	37.4801	0.6538	
2	107.2889	31.7045	0.5531	
3	124.1043	33.6966	0.5878	
4	152.9543	30.7324	0.5361	
5	138.2833	28.8401	0.5031	
6	156.7496	24.3489	0.4248	
7	155.2427	22.4555	0.3917	
8	148.3308	18.8463	0.3288	
9	156.6180	16.0498	0.2800	
10	158.5964	16.0851	0.2806	
11	136.8949	16.2820	0.2840	
12	143.2465	11.8070	0.2060	
13	132.6448	11.4343	0.1995	

Uzunluk Hesap Eğim Hesap Hız Hesap Basınç Hesap

Resim 4.19. Uzunluk ve Eğim Değerleri

4.3.5. Hız hesap butonunun kullanılması

Kullanıcının arazi üzerinde seçtiği her bir nokta için hangi hız değerlerine sahip olduğunu öğrenebilmesi için hız hesap butonu eklenmiştir. Hız hesap butonunun çalışabilmesi için Resim 4.20 de görülen katsayılar panelinin uygun değerlerle doldurulması gerekmektedir.

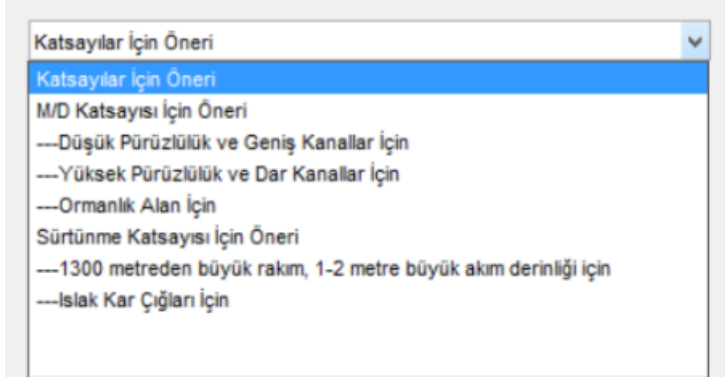
Katsayılar

M/D Değeri

Sürtünme Katsayısı

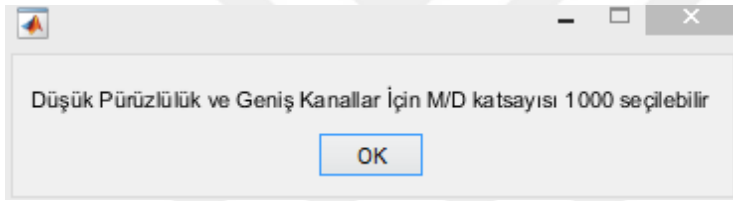
Resim 4.20. Katsayılar Paneli

M/D Değeri ve Sürtünme katsayısı değeri arazi özelliklerine bağlı olarak değişen değerlerdir bu katsayıların doğru girilmesi sonuçların doğru açılmasından önemlidir. Kullanıcıya katsayılar konusunda yardımcı olması açısından Resim 4.21 de görülen katsayılar için öneri bölümü eklenmiştir.



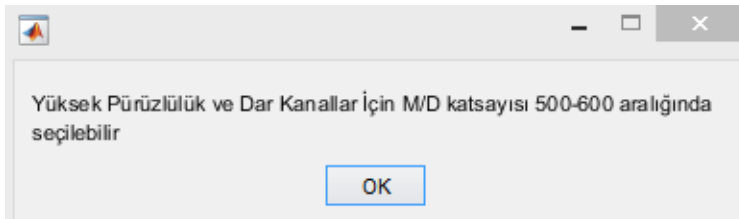
Resim 4.21. Katsayılar için öneri bölümü

Katsayılar için öneri bölümü M/D değeri ve Sürtünme katsayısı için arazi şartlarına bağlı olarak öneri sunmaktadır. M/D katsayısı için düşük pürüzlü arazi ve geniş kanallar için önerisine tıkladığında Resim 4.22 de görülen 1000 değeri seçilebilir önerisini sunmaktadır.



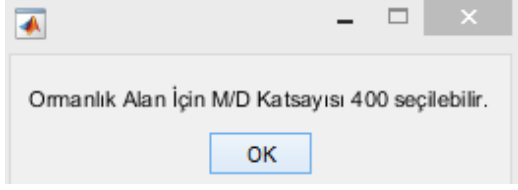
Resim 4.22. M/D değeri için öneri

M/D değeri için yüksek pürüzlü arazi ve dar kanallar için önerisi seçildiğinde program kullanıcıya Resim 4.23 de görülen 500 ile 600 arasında bir değerinin seçilmesinin uygun olduğunu göstermektedir.



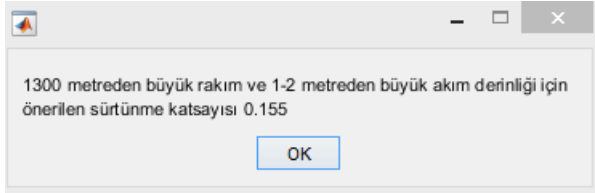
Resim 4.23. M/D değeri için öneri

M/D değeri için ormanlık alan önerisi seçildiğinde Resim 4.24 görülen 400 değeri kullanıcıya gösterilmektedir.



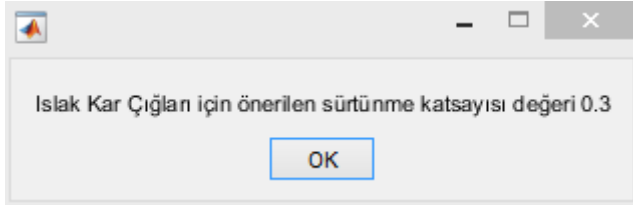
Resim 4.24. M/D değeri için öneri

Sürtünme katsayısı için öneri bölümünden 1300 metreden büyük rakım ve 1-2 metre büyük akım derinliği için öneri sekmesi seçildiğinde Resim 4.25 de görülen 0.155 değeri öneri olarak kullanıcıya gösterilmektedir.



Resim 4.25. Sürtünme Katsayısı için Öneri

Sürtünme katsayısı için öneri bölümünden ıslak kar çığları için öneri bölümü seçildiğinde Resim 4.26 da görülen 0.3 değeri gösterilmektedir.



Resim 4.26. Sürtünme Katsayısı için Öneri

Hız değerinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için doğru katsayı değerleri programa girilir. Katsayılar programa girilirken dikkat edilmesi gereken önemli bir durum vardır. Ondalıklı sayı, hücreye girilirken sıfırın yanına virgöl konulmaması gerekir nokta kullanılmalıdır.

Hız değerleri hesaplanırken seçilen ilk noktada hız değeri sıfır kabul edilerek işlem yapılmıştır. Resim 4.27 de hız butonuna basıldığında program çıktısı gösterilmektedir.

		Eğim	Eğim Radyan	Hız	
1	50	37.4801	0.6538	29.9081	0 ^
2	89	31.7045	0.5531	38.3022	
3	43	33.6966	0.5878	45.4117	
4	43	30.7324	0.5361	49.9482	
5	33	28.8401	0.5031	52.0862	
6	96	24.3489	0.4248	51.9420	
7	27	22.4555	0.3917	51.0137	
8	08	18.8463	0.3288	48.7648	
9	80	16.0498	0.2800	45.5470	
10	64	16.0851	0.2806	43.0341	
11	49	16.2820	0.2840	41.4391	
12	65	11.8070	0.2060	37.6621	

< >

Uzunluk Hesap Eğim Hesap Hız Hesap Basınç Hesap

Katsayılar

M/D Değeri 1000

Sürtünme Katsayısı 0.155

Resim 4.27. Hız Değerleri

4.3.6. Basınç hesap butonunun kullanılması

Seçilen çıkış hattı güzergahına ait basınç değerlerinin hesaplatılabilmesi için sırasıyla uzunluk, eğim değerleri hesaplatılmış ve M/D değeri, sürtünme katsayısı için uygun değerler girilerek hız değerleri de hesaplatıldıktan sonra basınç hesap butonuna basılmalıdır. Basınç hesap butonuna hesaplatılan değerler Resim 4.28 de görülen tabloda altıncı sütunda seçilen her bir nokta için gösterilmektedir.

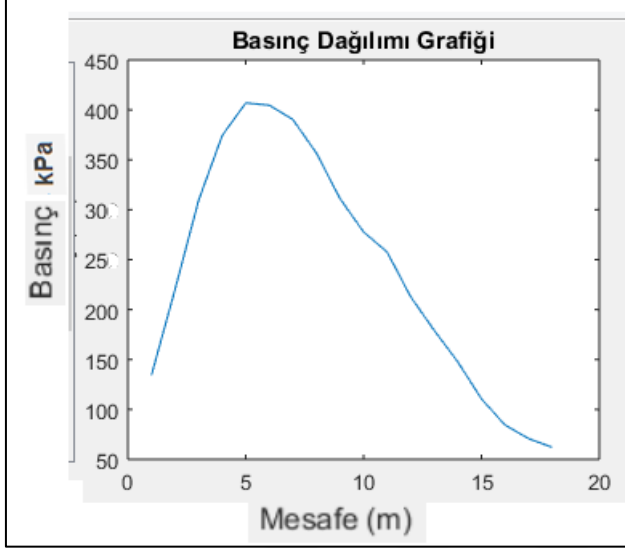
		Eğim Radyan	Hız		
1	01	0.6538	29.9081	0	134.1746 ^
2	45	0.5531	38.3022		220.0589
3	66	0.5878	45.4117		309.3333
4	24	0.5361	49.9482		374.2234
5	01	0.5031	52.0862		406.9452
6	89	0.4248	51.9420		404.6951
7	55	0.3917	51.0137		390.3598
8	63	0.3288	48.7648		356.7006
9	98	0.2800	45.5470		311.1796
10	51	0.2806	43.0341		277.7901
11	20	0.2840	41.4391		257.5803
12	70	0.2060	37.6621		212.7654 v

< >

Uzunluk Hesap Eğim Hesap Hız Hesap Basınç Hesap

Resim 4.28. Basınç Değerleri

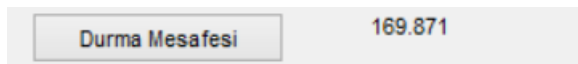
Tabloda gösterilen basınç değerlerinin kullanıcı tarafından daha rahat anlaşılabilmesi hangi noktada artış ve azalış gösterdiğinin anlaşılabilmesi için Resim 4.29 da görülen Basınç grafiği çiz butonuna basılarak basın dağılımı grafiği haline getirilmiştir. Y ekseninde basınç değerleri x ekseninde ise mesafe değerleri kullanıcıya gösterilmektedir.



Resim 4.29. Basınç Dağılımı Grafiği

4.3.7. Durma mesafesi, seçilen hat uzunluğu ve temizle butonlarının kullanılması

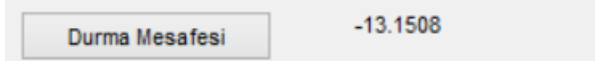
Arazi üzerinden seçilen noktalar ile oluşturulan çığ hattı üzerinde hesaplama yapılarak çığın durma mesafesi hesaplanmaktadır. Hızın sıfır olduğu yerde çığın durduğu yer kabul edilmektedir. Eğer kullanıcının seçtiği son noktada hız sıfır değilse program hızın ne zaman sıfıra ulaşacağı mesafeyi hesaplamakta ve kullanıcıya seçtiği son noktadan kaç metre uzaklıkta çığın duracağı bilgisini vermektedir. Resim 4.30 de görülen mesafe çığın seçilen son noktadan itibaren 169.871 metre daha hareket ettikten sonra duracağı bilgisini kullanıcıya vermektedir.



Resim 4.30. Durma Mesafesi Butonu

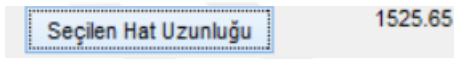
Durma mesafesi butonuna basıldığında negatif değer sonucu vermesi sonucunda ise çığ hattının uzun seçildiğini seçilen hat üzerinde çığın durduğu anlamına gelmektedir. Resim

4.31 de görülen -13.1508 değeri kullanıcıya seçilen son noktanın çıgın durduğu bilgisini vermektedir.



Resim 4.31. Durma Mesafesi Butonu Eksi Değer

Kullanıcı harita üzerinde seçtiği noktalar bir çıg hattı oluşturmaktadır. Seçilen bu hattın uzunluğu öğrenilmek istenirse Resim 4.32 de görülen seçilen hat uzunluğu butonun basılarak öğrenilebilmektedir.



Resim 4.32. Seçilen Hat Uzunluğu Butonu

Kullanıcı tarafından seçilen noktalar tabloya aktarılmakta ve bunlar üzerinde değişiklik yapılabilir. Eğer kullanıcı tabloyu, oluşturulan arazi en kesit grafiğini veya basınç grafiğini silmek isterse Resim 4.33'te görülen pencereyi kullanabilir.



Resim 4.33. Temizle Butonları

4.3.8. Koruma yapısı tasarımı panelinin kullanılması

Bu panel kullanıcıya çizdiği çıg hattına ait nasıl bir koruma yapısı tasarlayabileceği hakkında genel bir fikir vermesi amacıyla tasarlanmıştır. Resim 4.34 de panelin genel görünümü gösterilmiştir.

Koruma Yapısı Tasarımı

Başlama Bölgesi Hangi Noktaya Kadar

H Extrem Değer

H Extrem Değer Rakım

Tasarım Yapısı Yüksekliği

Mesafe Faktörü FL

Koruma Yapısı Hesabı Yap

Resim 4.34. Koruma Yapısı Tasarımı Paneli Genel Görünümü

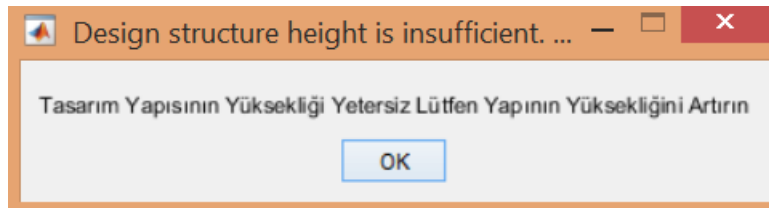
Koruma yapıları çığ hattının başlama bölgesine kurulması gerektiği için kullanıcıya başlama bölgesinin hangi noktaya kadar olduğunu sormaktadır. Kullanıcı bu sorunun cevabını eğim tablosundaki değerlere bakarak kendi karar vermektedir. Meteorolojik verilerden faydalanarak H ekstrem değer yani daha önceki dönemlerde en fazla ne kadar kar derinliği oluştuğu bilgisi elde edilir. Maksimum bu kar derinliğinin hangi kot değerinde olduğu bilgisi de H ekstrem değer rakım bilgisine girilir. Örnek verilecek olunursa Resim 4.35 görülen değerlerde Bayburt iline ait 1584 rakım değerinde 50 yıllık kar periyodunda en yüksek kar derinliğinin 0,82 metre olduğu verisine ulaşılabilir. Burada 1584 kotu kullanıcının kullandığı haritadaki kot değerleriyle aynı olmayabilir. Bu sorunun önüne geçilebilmesi için her 100 metrede bir kar yüksekliğinin 5 cm arttığı kabulü yapılarak daha yüksek kotlarda seçim yapıldığında ekstrem kar derinliği verisi güncellenmektedir. Aynı yöntemle daha alçak kotlarda çalışıldığında da her 100 metrede bir kar derinliğinin 5 cm azaldığı kabulü yapılarak daha alçak kotlarda seçim yapıldığında ekstrem kar derinliği verisi güncellenmektedir.

Tablo 1. 1. sınıf istasyonlardaki yıllık ekstrem kar verilerinin analiz sonuçları (devam)

İstasyon (1)	Rakım, m (2)	Yıllık kar yükü için seçilen dağ. (3)	50 yıllık kar yükü için seçilen dağ. L ₅₀ , kPa (4)	Yıllık kar derin. verileri için seçilen dağ. (5)	50 yıllık kar derin. D ₅₀ , m (6)	TS 498'e göre kar yükü bölğ. (7)	TS 498'e göre kar yükü P _{k0} , kPa (8)	TS 7046'ya göre kar yükü S ₀ , kPa (9)	TS 7046'ya göre kar derin. D ₀ , m (10)	L ₅₀ P _{k0} (11)	L ₅₀ S ₀ (12)	D ₅₀ D ₀ (13)
Karabük	259	G	0,33	G	0,36	3	0,75	0,35	0,38	0,44	1,25	0,96
Amasya	412	G	0,34	G	0,33	3	0,75	0,37	0,36	0,45	1,22	0,93
Bilecik	539	G	0,68	G	0,44	3	0,8	0,7	0,48	0,85	1,22	0,92
K.maraş	572	W	0,46	G	0,35	3	0,8	0,45	0,37	0,58	1,29	0,95
Tokat	608	W	0,59	G	0,57	3	0,85	0,71	0,57	0,70	0,99	0,99
Bolu	743	G	0,79	G	0,73	3	1,25	0,82	0,78	0,63	0,77	0,93
Çankırı	751	G	0,59	W	0,34	3	1,25	0,6	0,34	0,47	0,79	1,00
Kastamonu	800	G	0,55	W	0,38	3	1,25	0,61	0,44	0,44	0,72	0,86
Malatya	948	G	0,55	G	0,56	3	1,35	0,61	0,61	0,41	0,67	0,92
Kütahya	969	G	0,53	W	0,50	3	1,35	0,55	0,57	0,39	0,71	0,87
Elazığ	990	W	0,57	W	0,41	3	1,35	0,64	0,46	0,42	0,66	0,90
Afyon	1034	G	0,81	L	0,73	3	1,49	1,09	0,68	0,54	0,50	1,07
Erzincan	1218	L	0,96	W	0,41	3	1,49	0,85	0,52	0,64	0,75	0,80
Gümüşhane	1219	W	1,36	G	0,93	3	1,49	1,6	0,91	0,91	0,57	1,02
Yozgat	1298	G	1,66	G	0,74	3	1,49	1,8	0,83	1,12	0,62	0,90
Bayburt	1584	L	1,38	L	0,82	3	1,55	1,55	0,88	0,89	0,58	0,94
Erzurum	1869	L	2,01	G	0,94	3	1,55	1,93	1,04	1,30	0,67	0,91
Rize	9	W	1,68	W	0,97	4	0,75	1,32	1,00	2,24	1,70	0,97

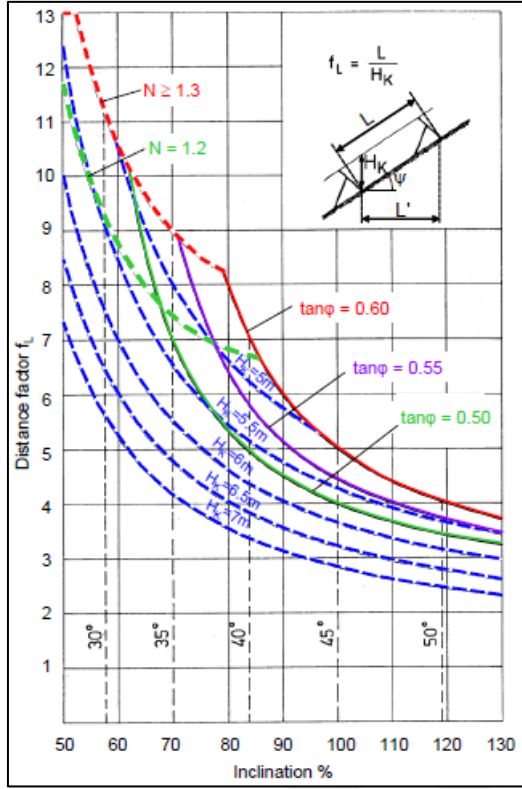
Resim 4.35. Yıllık ekstrem kar verileri

Ardından kullanıcı tarafından tasarım yapısı yüksekliği seçmesi istenmektedir eğer kullanıcının seçtiği tasarım yapısı yüksekliği ekstrem kar derinliğinden küçük ise program kullanıcıya Resim 4.36 görülen tasarım yapısının yüksekliği yetersiz lütfen yapının yüksekliğini artırın uyarısını vererek kullanıcıdan tasarım yapısı yüksekliğinin artırılması istenilmektedir.



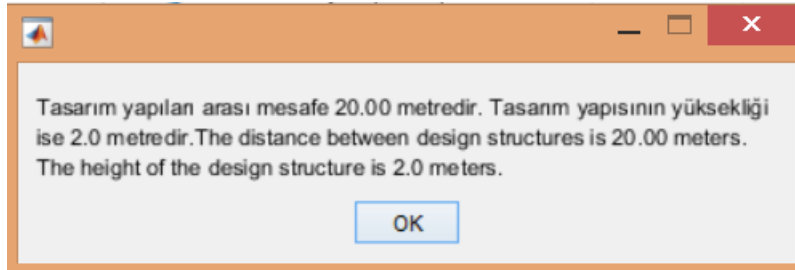
Resim 4.36. Tasarım yapısının yüksekliğinin yetersiz uyarısı

Son olarak kullanıcıdan koruma yapısının tasarımı için gerekli olan mesafe faktörü (f_L) değeri istenilmektedir. Mesafe faktörü değeri Resim 4.37’de verilen abaktan belirlenebilir. Çığ başlangıç bölgesinin ortalama eğimi ile seçilen tasarım yapısı yüksekliği eğrisinin kesişim noktasından faydalanılarak mesafe faktörü değeri okunabilmektedir.



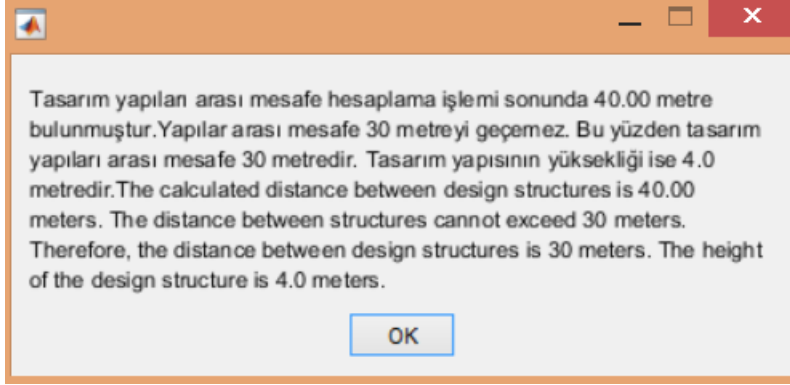
Resim 4.37. Mesafe faktörünün okunabilmesi gereken tablo (Margerth ve diğ., 2015)

Tüm bu değerler girildikten sonra koruma yapısı hesabı yap butonuna basıldığında resim 4.38 de görülen bilgi mesajı gelmektedir.



Resim 4.38. Koruma yapısı hesabı bilgi mesajı

Girilen değerlere bağlı olarak tasarım yapıları arası mesafe değeri farklı çıkmaktadır. Ama tasarım yapıları arası mesafe 30 metreyi aşmamaktadır. Eğer hesaplamalar sonucu tasarım yapıları arası mesafe 30 metreyi aşması durumunda program kullanıcıya Resim 4.39 verilen bilgi mesajını vermektedir. Yapılar arası mesafenin 30 metreden fazla olamayacağını dolayısıyla tasarım yapıları arası mesafenin 30 metre olacağı bilgisini kullanıcıya vermektedir.



Resim 4.39. Koruma yapısı hesabı bilgi mesajı

4.3.9. Kar yüksekliği hesaplama panelinin kullanılması

Panelin kullanılabilmesi için ilk önce kullanıcı tarafından başlama bölgesinin hangi noktaya kadar olduğu eğim değerlerine bakılarak tayin edilmelidir ardından Çizelge 4.2’de görülen tabloya bakılarak 3 günde düşebilecek kar derinliğinin yineleme periyotları da dikkate alınarak kullanıcı tarafından değer seçilerek hücreye girilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.2. Üç günde düşebilecek kar derinliği (Salm ve diğ.,1990)

Yineleme periyodu, T (yıl)	$\psi_{0m}=28^\circ$ için d_0^* referans değeri İklim: 3 günde düşebilecek kar derinliği	
	Zayıf [m]	Önemli [m]
30	0,88	1,50
100	1,06	1,81
300	1,23	2,10

Seçilen çıkış hattında gerekli kar derinliklerinin hesaplanabilmesi için başlangıç alanı genişliği ve P noktası genişliğinin hücrelere girilmesi gerekmektedir. Bu alanların genişliklerinin hesaplanabilmesi için panele istenilen noktalar arası genişlik hesaplanabilmesi için özellik eklenmiştir. Resim 4.40 de görülen 1. Nokta kutucuğuna tıklanır açılan arazi haritasında

istenilen yer seçilir ve panelin herhangi bir yerine bir kere tıklanır böylece seçilen noktanın x, y ve z koordinatları hücrelere gelmiş olur.

Resim 4.40. Seçilen noktayı koordinatlarının gelmesi

2. nokta da harita üzerinde seçilir ve panelin üzerinde herhangi bir noktaya tıklatılır. Ardından seçilen noktalar arası mesafe butonuna basılır ve seçilen 1. Nokta ve 2. Nokta arası mesafe Resim 4.41’de görüldüğü gibi kullanıcıya gösterilir.

Resim 4.41. Seçilen noktalar arası mesafe değerinin hesaplanması

Kullanıcıya sunulan seçilen noktalar arası mesafe butonu aracılığıyla kullanıcı gerekli olan genişlikleri bulduktan sonra başlangıç alanı genişliği ve P noktası alanı genişliği hücrelerine verileri girebilir. Türbülanslı sürtünme faktörü ve katı sürtünme katsayısı değerlerini kullanıcı katsayılar öneri bölümünde araziye uygun koşullara göre gerekli değerleri girmesi gerekmektedir. P noktası hücresi doldurulurken de kullanıcı eğim değerlerinden yararlanarak eğim değerinin hangi noktada 10 dereceye ulaştığını görerek uygun değeri girmesi gerekmektedir. Gerekli tüm veriler girildikten sonra yükseklik hesaplama butonuna basıldığında resim 4.42 de görüldüğü gibi başlama bölgesi kar derinliği ve P noktası kar derinliği değeri kullanıcıya gösterilmektedir.

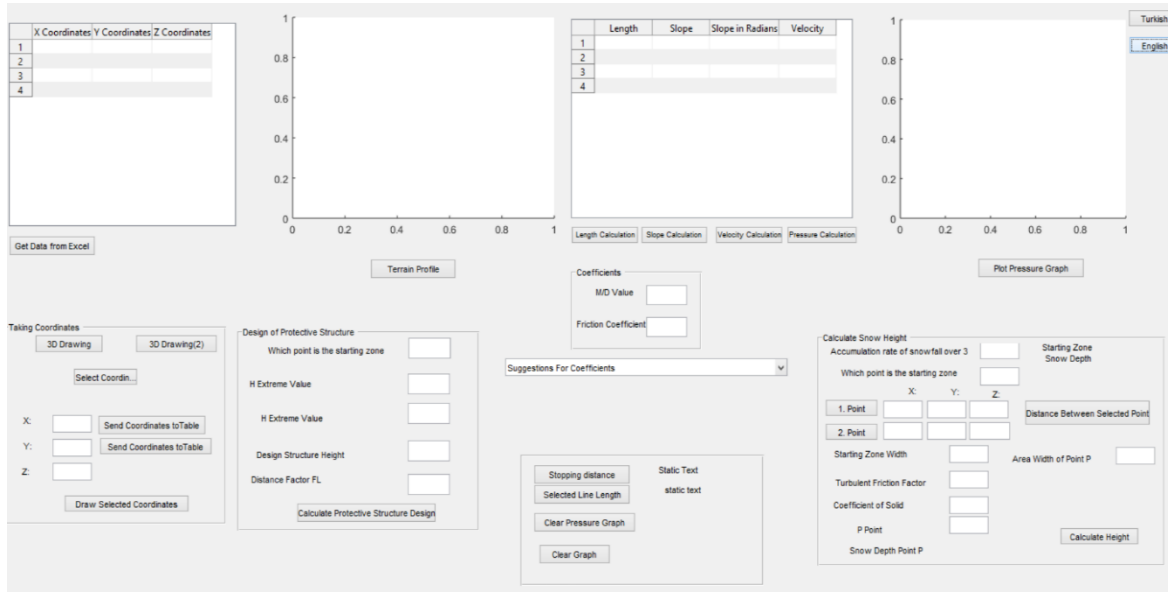
Kar Yüksekliği Hesaplama			
Başlama Bölgesi Hangi Noktaya Kadar		3	
3 Gündeki Kar Yağışının Birikme Oranı		0.88	
Başlama Bölgesi Kar Derinliği :		0.806158	
	X:	Y:	Z:
1. NOKTA	617463	4.4827e+1	2600.32
2. NOKTA	617246	4.48264e-	2599.84
Seçilen Noktalar Arası Mesafe		225.143	
Başlangıç Alanı Genişliği		225.143	
P Noktası Alanı Genişliği		428.23	
Türbülanslı Sürtünme Faktörü		1000	
Katı Sürtünme Katsayısı		0.155	
P Noktası		9	
P Noktası Kar Derinliği		1.08533	
Yükseklik Hesapla			

Resim 4.42. Kar derinliklerinin hesaplanması

Kar yüksekliği hesaplama paneli sadece P noktasına ait kar yüksekliği hesaplama işlemini yapmamaktadır. Çığ hattı üzerinde olan herhangi bir yerin yüksekliğini de hesaplamaktadır. Bu hesaplama işlemi yapılırken P noktası hücresi değerine istenilen noktanın numarası tabloya bakılarak girilir. Bu noktaya ait genişlik değeri seçilen noktalar arası mesafe butonu yardımıyla hesaplandıktan sonra genişlik değeri P noktası alanı genişliği hücresine girilir. Yükseklik hesaplama butonuna basıldığında p noktası kar derinliği karşısında olan değer istenilen noktaya ait kar derinliği verisini kullanıcıya göstermektedir.

4.3.10. Program kullanım dilinin değiştirilmesi

Yazılım dili sadece Türkçe ile sınırlı kalmayıp farklı kullanıcılar tarafından da kullanılabilmesi için İngilizceye dönüştürülebilmektedir. English butonuna basıldığında Resim 4.43 de görüldüğü gibi program İngilizce dilinde kullanıcıya gösterilmektedir. Program dilinin tekrar Türkçeye dönüştürülmesi için Turkish butonuna basılması yeterlidir.



Resim 4.43. Program Dilinin İngilizce Yapılması

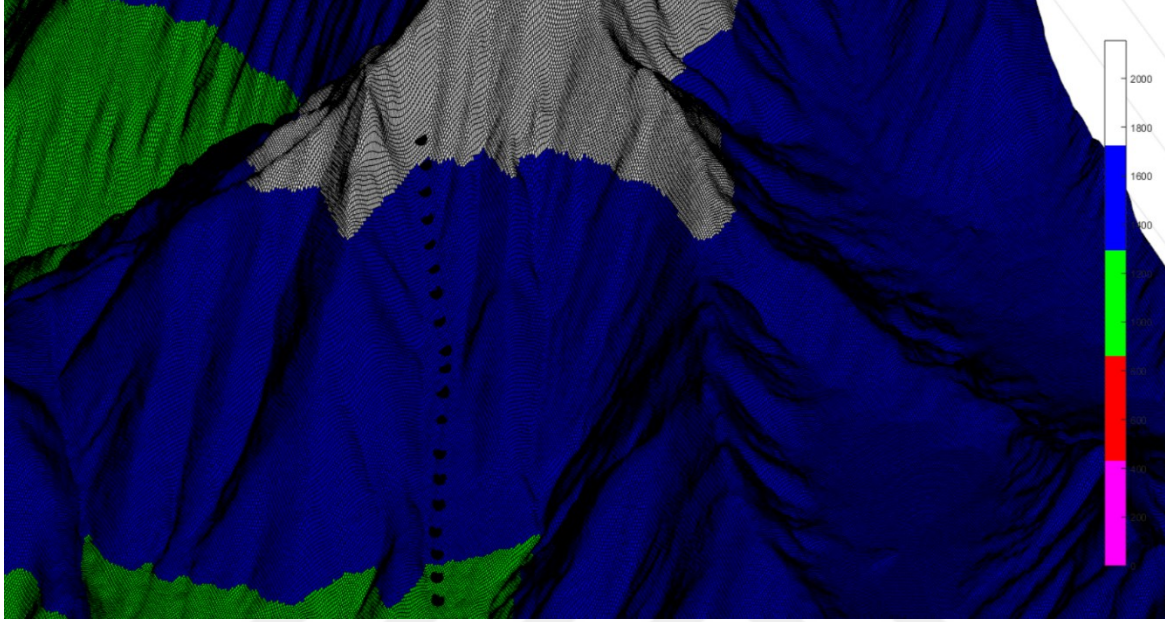
5. BULGULAR

Bu tez kapsamında hazırlanmış olan “Gazi Çığ” programı önceki yıllarda ülkemizde meydana gelmiş iki farklı bölgede yaşanmış çığ olayları için uygulanmıştır. Bu bölümde, aynı çığ güzergahları için uygulanmış “Gazi Çığ” program sonuçları ile RAMMS ve AVAL-1D program sonuçları karşılaştırılarak performans değerlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Demir (2018) tarafından gerçekleştirilen Doktora tezi kapsamında İzmir-Bozdağ kayak merkezinde 2012 yılında Kocadere çığ güzergahında meydana gelmiş çığ kazası için uygulanan RAMMS program sonuçları referans alınmıştır. Benzer şekilde, Arslan (2014)’ın Yüksek Lisans tezinde Trabzon ili Çaykara ilçesi, Uzungöl beldesi sınırları içerisinde bulunan Dorinori güzergahında 1992 kış mevsiminde yaşanan çığa ait AVAL-1D Programının uygulama sonuçları bu tez çalışması için bir performans değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır.

Demir (2018), doktora tezinde İzmir il sınırları içerisinde yer alan Bozdağ Kayak merkezini uygulama sahası olarak seçmiştir. Seçilen alandaki kayak merkezi, adını konumlandığı dağdan alan bir isme sahiptir ve "Bozdağ Kayak Merkezi" olarak adlandırılmıştır. Pilot bölge, İzmir ilinin yaklaşık olarak 157 kilometre doğusundadır. Gazi Çığ yazılımının değerlendirilmesi amacıyla çalışmanın bu bölümünde, 2012 yılında yaşanan ve kayak merkezi konaklama binasının da etkilendiği çığ olayının Demir (2018) tarafından gerçekleştirilen RAMMS programı analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

“Gazi Çığ” yazılımının çalıştırılabilmesi için altlık olarak kullanılacak çığ bölgesine ait sayısal yükseklik verisi (SYM) verisi uygulama sahası için açık kaynak olarak sunulan USGS (United States Geological Survey) internet sitesi üzerinden temin edilmiştir. “Gazi Çığ” yazılımında mevcut olan 3-boyutlu çizim butonu kullanılarak harita üzerinde çığ hattı oluşturulmuştur. Demir (2018) tarafından analiz edilen Kocadere güzergahı ile en yakın koordinatlara sahip çığ hattı Resim 5.1’de gösterilmiştir. Oluşturulan güzergaha ait koordinatların sayısal bilgileri program tarafından 1-Boyutlu ekseninde uygulanmak amacıyla kullanıcının talebine göre istenilen nokta sayısında örneğin Çizelge 5.1’de verildiği gibi 11 noktada hazırlanmıştır.

Bölüm 4’te kullanımına yönelik ayrıntıları anlatılan “Gazi Çığ” programından elde edilecek sonuçlar çığ hızları ve basınçlardır. Programdan bu sonuçların elde edilebilmesi için SYM verisi yanında sürtünme katsayıları (M/D ve μ) da gereklidir.



Resim 5.1. İzmir Bozdağ’a Ait Çığ Hattı

Çizelge 5.1. Kocadere Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 11 Nokta (Tip-1)

Nokta	X Koordinat	Y Koordinat	Z Koordinat	Z Koordinatı (Düzenlenmiş)
1	596843	4239680	1916,6	19,166
2	596908	4239600	1851,2	18,512
3	597023	4239510	1773,2	17,732
4	597143	4239380	1696,2	16,962
5	597247	4239180	1634,8	16,348
6	597303	4239020	1591,1	15,911
7	597316	4238760	1530,3	15,303
8	597356	4238400	1478,6	14,786
9	597455	4238010	1433	14,33
10	597568	4237650	1398	13,98
11	597698	4237210	1360	13,6

Gazi Çığ programı, seçilen 1-boyutlu çığ hattının sayısı kullanıcı tarafından belirlenen aralıklara bölünüp her bir bölümde çığ hızına ait sayısal işlemlerin takip edilmesi şeklinde çalışmaktadır. Bu nedenle analizlerde kullanıcı tarafından seçilecek aralık sayısının ve diğer girdi parametrelerinin sonuçlara etkisinin araştırılması gerekmektedir. Bu bölümde bu konu da irdelenecektir.

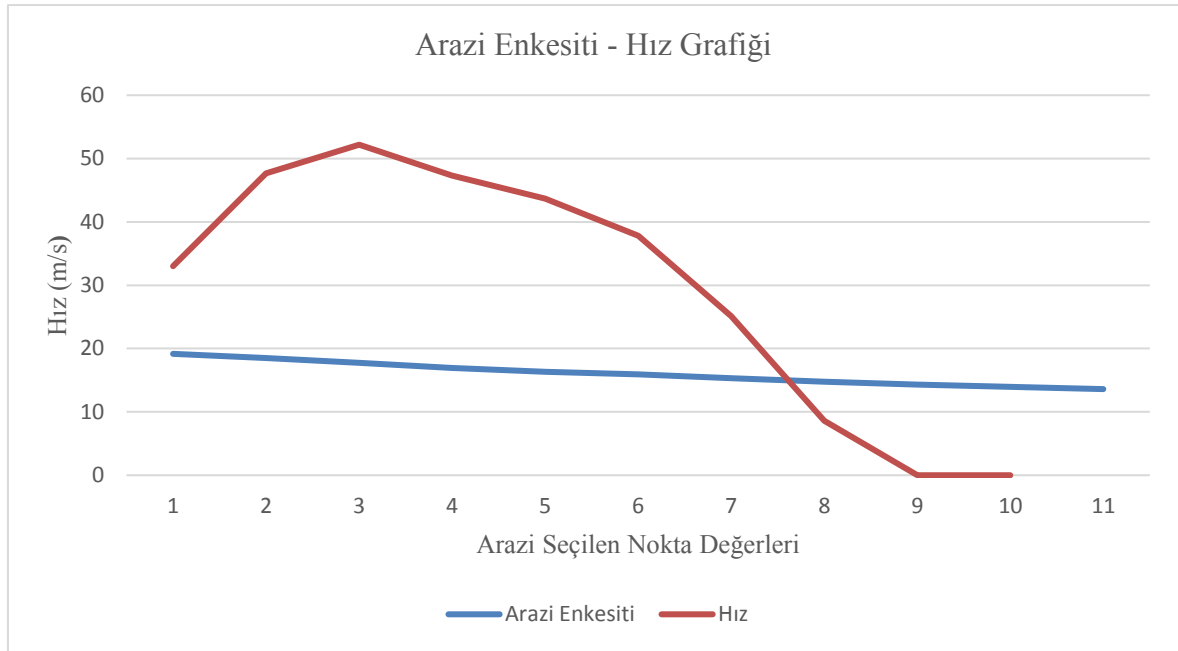
Kocadere ı hattı üzerinde ‘‘Gazi ı’’ programından elde edilen ı hızları ve basınçları, hattın farklı sayıda aralıklara bölünmesi ve sürtünme parametrelerinin farklı değerleri için yeniden hesaplatılmıştır. Analiz sonuçları üç farklı ı hattı için oluşturulmuştur. Bu hatlar 11 nokta seçim yapılarak Tip-1 ı hattı, 40 nokta seçim yapılarak Tip-2 ı hattı ve 81 nokta seçim yapılarak Tip-3 ı hattı oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir Tip ı hattı için 4 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Her bir hat için öncelikle sürtünme katsayısı değeri sabit tutularak M/D değeri 1000 ve 600 değerleri atanmış sonrasında M/D değeri sabit tutularak sürtünme katsayısı değerleri 0,155 ve 0,4 olarak kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçları grafik olarak da sunulmaktadır. Programdan elde edilen sonuçlar M.S. Excel programına aktarılıp Demir (2018) tarafından yapılan analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda Gazi ı programından elde edilen ilk sonuçlar izelge 5.2.’de özetlenmiştir. Çizelge 5.2.’de Tip-1 ı hattı üzerinde seçilen 11 noktanın M/D değeri 1000 ve sürtünme katsayısı 0,155 kullanılarak elde edilen arazi eğimleri, hız ve basınç değerleri sonuçları yer almaktadır. ı hattı boyunca elde edilen en yüksek hız değeri hattın başlangıcından üçüncü noktada 47,65 m/s ve basınç değeri ise 408,56 kPa’dır. Dokuzuncu noktada hızın değeri sıfıra inerek durmaktadır.

Çizelge 5.2. Tip -1 için M/D değeri 1000, Sürtünme Katsayısı 0,155 için ıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	122,0851	39,2945	33,0209	163,557
2	165,5661	40,9424	47,6499	340,5764
3	192,9123	30,6247	52,1895	408,5614
4	233,6469	17,0856	47,3261	335,9637
5	175,0591	15,2841	43,6847	286,2533
6	267,3397	13,1769	37,8225	214,5807
7	365,885	8,175	25,1125	945,96
8	404,9393	6,6651	8,5989	110,9129
9	378,9361	5,5526	0	0
10	460,3771	4,9437	0	

Tip-1 ı hattı üzerinde M/D =1000, sürtünme katsayısı=0,155 değerleri kullanılarak elde edilen program sonuçlarından arazi profili boyunca hız değişimi şekil 5.1’de çizilmiştir. Grafikte düşey eksen hız değerlerini, yatay eksen ise çığın başladığı noktadan itibaren arazi üzerinde program tarafından belirlenen bölümleri ifade etmektedir.

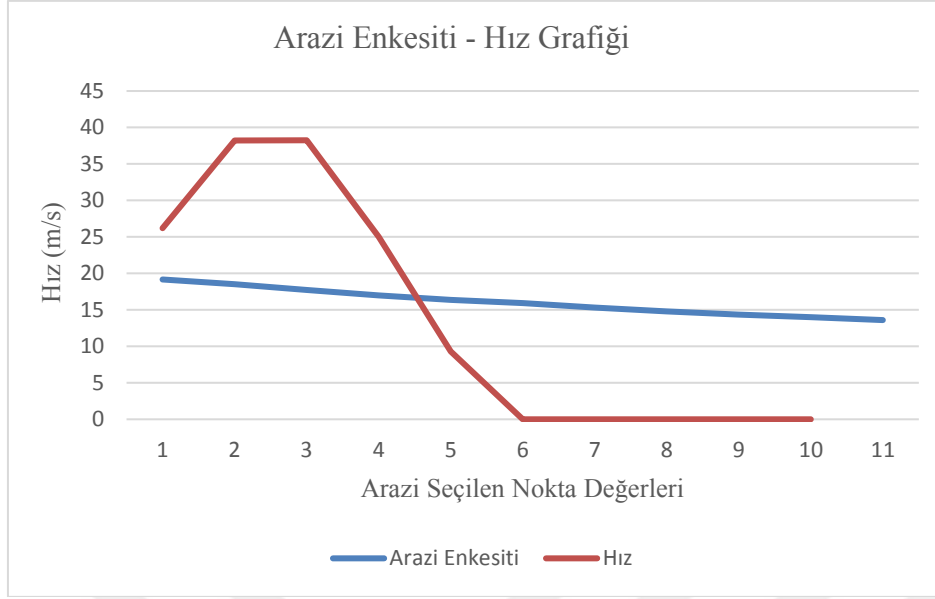


Şekil 5.1. Tip -1 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

Tip-1 çığ hattı üzerinde bir önceki M/D değeri ($M/D=1000$) sabit tutulup sürtünme katsayısının 0,4 olarak değiştirilmesi ile elde edilen yeni analize ait eğim, hız ve basınç sonuç değerleri Çizelge 5.3'te listelenmiştir. Bu analiz için Kocadere çığ hattı üzerinde en yüksek hız ve basınç değerleri yine üçüncü bölümde oluşmaktadır. En yüksek hız değeri 38,25 m/s iken en yüksek basınç 227,51 kPa'dır. Bu analiz sonucu çığın altıncı bölümde durduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.3. Tip -1 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	122,0851	39,2945	26,2164	103,0946
2	165,5661	40,9424	38,2291	220,3683
3	192,9123	30,6247	38,2451	227,5084
4	233,6469	17,0856	25,01	93,8495
5	175,0591	15,2841	9,283	12,9262
6	267,3397	13,1769	0	0
7	365,885	8,175	0	0
8	404,9393	6,6651	0	0
9	378,9361	5,5526	0	0
10	460,3771	4,9437	0	0



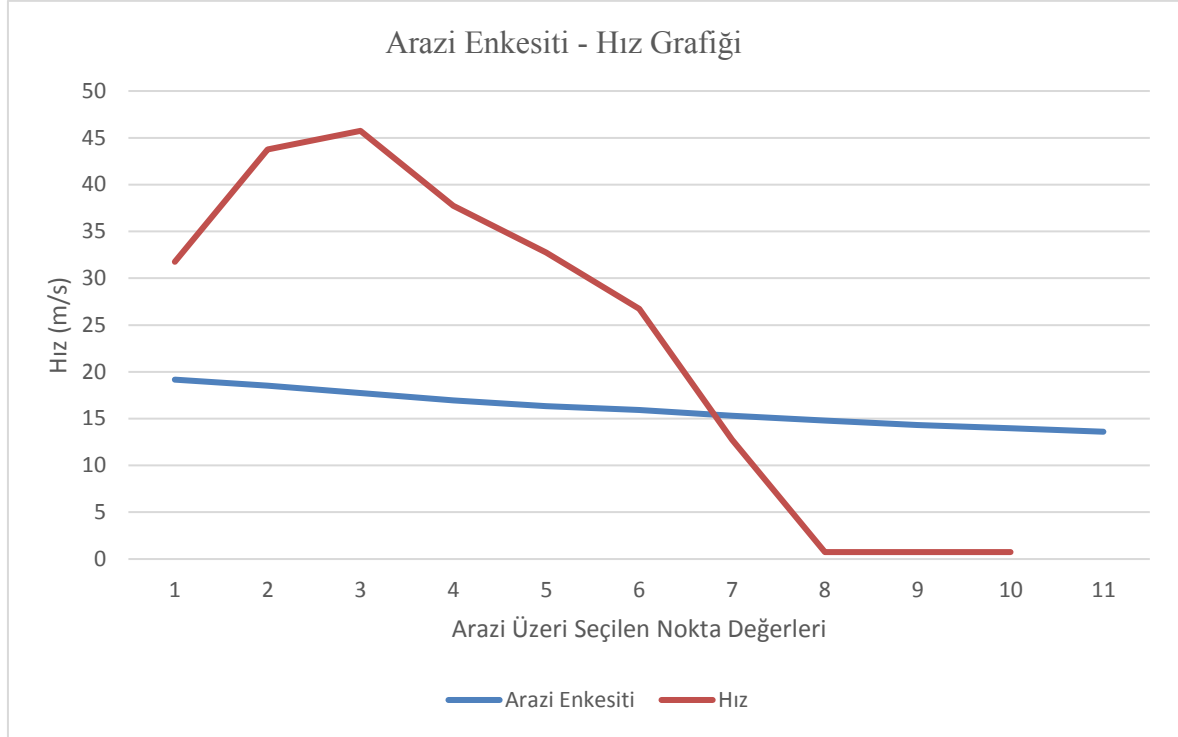
Şekil 5.2. Tip -1 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için hız değişimi

Çizelge 5.3'te listelenen veriler ve elde edilen program sonuçlarına ait hız değişim grafiği Şekil 5.2'de verilmektedir.

Tip-1 çığ hattı üzerinde M/D=600, sürtünme katsayısının 0,155 değerleri kullanılarak yapılan çalışma üçüncü farklı analizi oluşturmaktadır. Bu analize ait eğim, hız ve basınç sonuç değerleri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Sonuçlar hızın en yüksek değerinin üçüncü bölümde 45,74 m/s olduğunu, basınç değerinin de dördüncü noktada 711,76 kPa ile en yüksek değere ulaştığını göstermektedir. Bu sonuçlara ait profil boyunca hız değişimi Şekil 5.3'te çizilmiştir.

Çizelge 5.4. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	122,0851	39,2945	31,744	151,4384
2	165,5661	40,9424	43,744	388,6386
3	192,9123	30,6247	45,744	509,498
4	233,6469	17,0856	37,744	711,7592
5	175,0591	15,2841	32,744	262,3987
6	267,3397	13,1769	26,744	606,7711
7	365,885	8,175	12,744	2,3739
8	404,9393	6,6651	0,744	0.184,0704
9	378,9361	5,5526	0,744	0.416,0737
10	460,3771	4,9437	0,744	



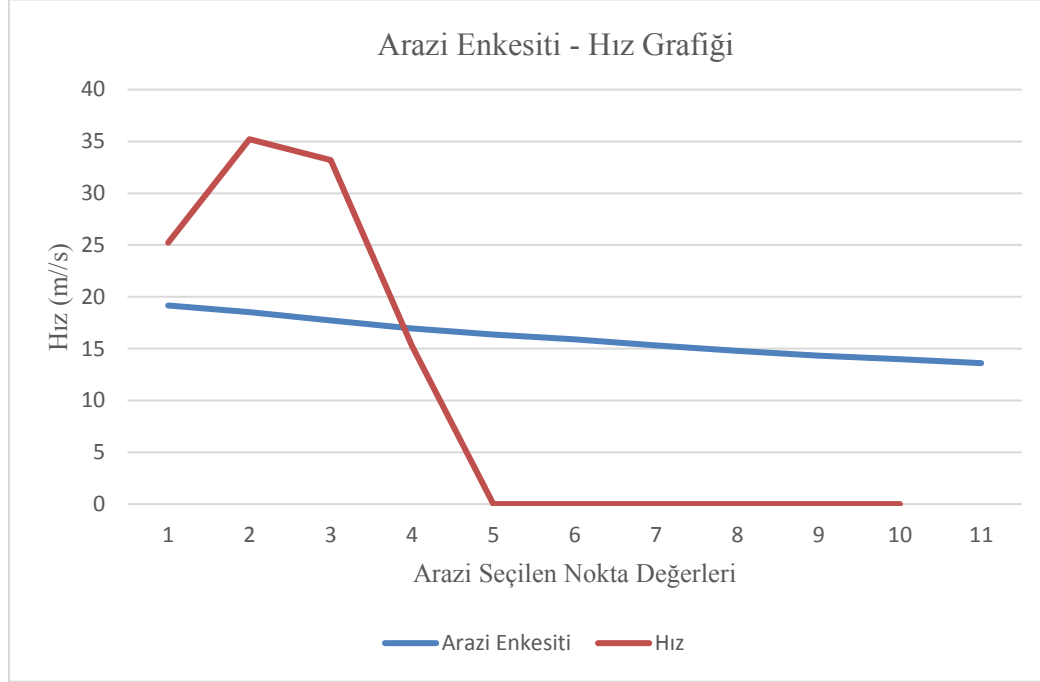
Şekil 5.3. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

Tip-1 çığ hattı için son denemede $M/D=600$, sürtünme katsayısı=0,4 değerleri kullanılarak elde edilen program sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Bu analizde en yüksek hız değeri ikinci bölümde 35,22 m/s değerine ulaşmıştır. En yüksek basınç değeri ise yine ikinci noktada 187,08 kPa değerinde görülmektedir. Beşinci noktada hızın değeri sıfır olduğundan hareketin durduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.5. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	122,0851	39,2945	25,2264	95,4559
2	165,5661	40,9424	35,2154	187,0769
3	192,9123	30,6247	33,2072	167,406
4	233,6469	17,0856	15,2558	34,8545
5	175,0591	15,2841	0	0
6	267,3397	13,1769	0	0
7	365,885	8,175	0	0
8	404,9393	6,6651	0	0
9	378,9361	5,5526	0	0
10	460,3771	4,9437	0	

Kocadere ı güzergahı Tip-1 ı hattı için yapılan son analizden elde edilen hız değişim grafiği şekil 5.4'te gösterilmiştir.



şekil 5.4. Tip -1 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

Kocadere ıı için oluşturulan ve Tip-2 olarak adlandırılan ikinci grup çalışma, ı hattı uzunluğunu 40 nokta ile meydana getirmektedir. Böylece ı hattının 11'den 40'a çıkarılması ile çözümde kullanılan bölünme sayısının program sonuçlarına etkisi irdelenebilecektir. Bu amaçla oluşturulan Tip-2 için ı profili üzerinde yer alan 40 noktanın X, Y ve Z koordinatları izelge 5.6'da listelenmiştir.

Kocadere Tip-2 ı hattında oluşturulan 40 noktada $M/D=1000$ ve sürtünme katsayısı=0,155 değerleri için elde edilen ilk çalışma sonuçlarına ait eğim, hız ve basınç değerleri izelge 5.7'de özetlenmektedir. Hız, en yüksek yedinci noktada 34,13 m/s değerine ulaşmış, basınç ise dokuzuncu noktada en yüksek etkisini 157,42 kPa değeri ile göstermiştir. Yirmi yedinci noktada program hız değerini sıfır hesapladığından çığın durduğu görülmektedir.

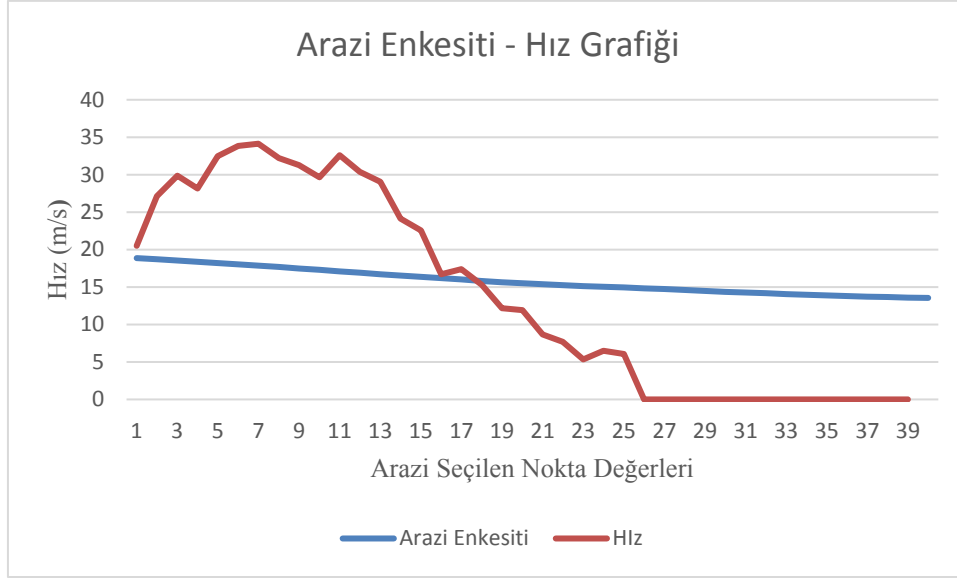
Çizelge 5.7'de Tip-2 ı hattı için özetlenen analiz sonuçlarına ait hız değişimi şekil 5.5'te çizilmiştir.

Çizelge 5.6. Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 40 Nokta (Tip-2)

Nokta	X Koordinat	Y Koordinat	Z Koordinat	Z Koordinatı (Düzenlenmiş)
1	596873	4239640	1886,4	18,864
2	596898	4239630	1870,2	18,702
3	596921	4239620	1853,7	18,537
4	596943	4239600	1835,4	18,354
5	596958	4239560	1819,2	18,192
6	596987	4239550	1803,3	18,033
7	597019	4239530	1785,1	17,851
8	597024	4239510	1768,8	17,688
9	597051	4239470	1748	17,48
10	597070	4239440	1732	17,32
11	597083	4239390	1708,4	17,084
12	597136	4239370	1690,3	16,903
13	597167	4239330	1672,3	16,723
14	597189	4239290	1653,8	16,538
15	597195	4239220	1635,5	16,355
16	597200	4239170	1619,9	16,199
17	597213	4239080	1603,4	16,034
18	597235	4239010	1582,7	15,827
19	597242	4238930	1565	15,65
20	597283	4238850	1550,2	15,502
21	597286	4238790	1537,7	15,377
22	597309	4238720	1527	15,27
23	597323	4238630	1511,4	15,114
24	597314	4238570	1502,6	15,026
25	597316	4238520	1493,4	14,934
26	597330	4238460	1483,4	14,834
27	597371	4238380	1474,2	14,742
28	597407	4238280	1460	14,6
29	597448	4238190	1449	14,49
30	597504	4238070	1436,5	14,365
31	597549	4237960	1425,1	14,251
32	597592	4237870	1416,4	14,164
33	597621	4237780	1405,8	14,058
34	597622	4237670	1397,4	13,974
35	597646	4237600	1390,1	13,901
36	597667	4237470	1379	13,79
37	597700	4237370	1373,1	13,731
38	597711	4237270	1365,5	13,655
39	597736	4237190	1360	13,6
40	597769	4237100	1355	13,55

Çizelge 5.7. Tip -2 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	31,4545	58,4379	20,5049	69,1378
2	29,9989	58,7497	27,1264	131,4497
3	34,9917	42,4176	29,8496	178,4176
4	45,9063	22,1207	28,1596	192,4207
5	34,9562	57,8785	32,4668	154,4785
6	41,9086	42,3707	33,8292	100,4707
7	26,9748	39,1827	34,1351	123,4827
8	52,9513	27,4884	32,2160	138,4884
9	38,9323	28,0272	31,2820	150,4272
10	56,9142	25,3176	29,6396	157,4176
11	59,9603	42,1192	32,5816	109,4192
12	53,9223	24,2758	30,3598	108,4758
13	49,9457	24,7977	29,0515	108,4977
14	72,9009	14,6583	24,1541	173,4583
15	52,9271	17,3785	22,5801	158,4785
16	92,9135	10,3756	16,6952	104,4756
17	76,9424	16,4896	17,3987	189,4896
18	82,9375	12,4957	15,2822	160,4957
19	91,9900	10,4242	12,1956	123,4242
20	61,9739	11,8292	11,9009	107,4292
21	74,9474	8,6552	8,6582	177,4552
22	92,9137	9,8571	7,7046	152,4571
23	61,9061	8,3481	5,3396	133,4481
24	50,9787	10,4311	6,5090	124,4311
25	62,9179	9,4671	6,0669	111,4671
26	90,9690	6,5989	5,6613	83,1191
27	1,9204	8,0580	0	0
28	99,9088	6,9718	0	0
29	1,9169	5,9735	0	0
30	1,9932	5,9146	0	0
31	1,9190	5,4927	0	0
32	95,9558	6,7583	0	0
33	1,9248	4,3691	0	0
34	74,9592	5,9566	0	0
35	1,9480	4,8609	0	0
36	1,9695	3,3782	0	0
37	1,9936	4,3768	0	0
38	83,9923	3,8992	0	0
39	95,9896	3,1814	0	



Şekil 5.5. Tip -2 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

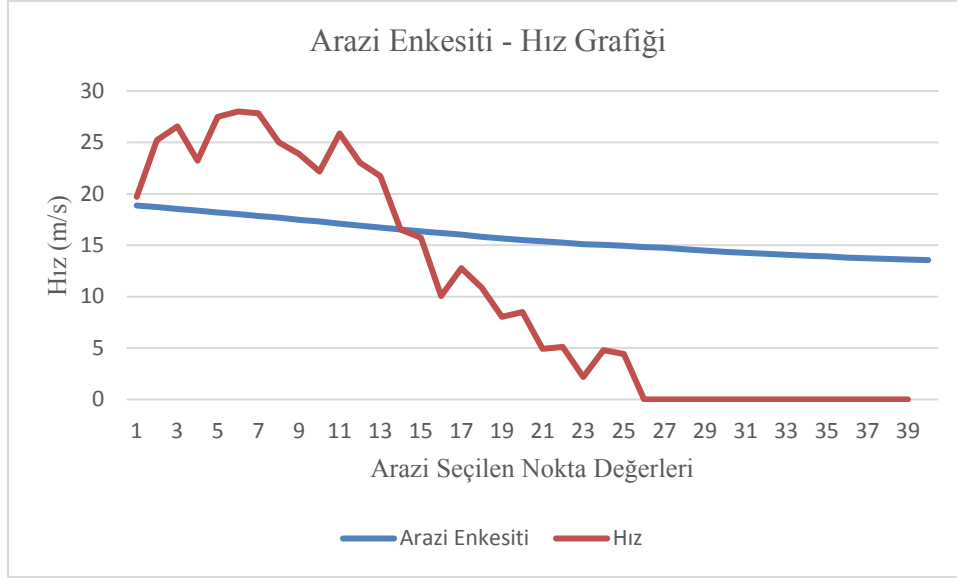
Tip-2 çığ hattı için seçilen ikinci analizde $M/D=600$, sürtünme katsayısı=0,155 değerleri kullanılarak elde edilen eğim, hız ve basınç değerleri Çizelge 5.8’de verilmektedir. Çığ hızının en yüksek değeri altıncı noktada 28,01 m/s olarak hesaplanmış, basınç etkisi de yine altıncı noktada en yüksek değere 117,67 kPa ile ulaşmıştır. Yirmi altıncı noktada hız değeri sıfır olduğundan hareket durmuştur. Tip-2, üçüncü analiz sonuçlarından elde edilen hız değişimi Şekil 5.6’da gösterilmektedir.

Kocadere çığ hattında Tip-2 için seçilen üçüncü analiz için veriler $M/D=600$, sürtünme katsayısı=0,4 olarak atanmıştır. Bu analize ait Gazi Çığ program sonuçları Çizelge 5.9’da listelenmiştir. Patika üzerinde oluşan çığın en yüksek değeri 23,29 m/s iken basıncın en büyük değeri 81,38 kPa’dır. Her iki değerde başlangıçtan itibaren altıncı noktada meydana gelmiştir. Ayrıca on dördüncü noktada hız değeri sıfır olduğundan çığın durduğu söylenebilir. Hız değişimine ait sonuçlar Şekil 5.7’de gösterilmektedir.

Kocadere çığ hattı Tip-2 çalışma bölümü için oluşturulan son analizde kullanılan veriler $M/D=1000$ ve sürtünme katsayısı=0,4’tür. Analiz sonuçları Çizelge 5.10’da verilmektedir. Çığ hızının en yüksek değeri altıncı noktada 28,19 m/s’dir. Basınç etkisi yedinci noktada en yüksek 119,85 kPa değerine ulaşmaktadır. On beşinci noktada hız sonucu sıfır değerini alarak hareket durmaktadır. Hız değişimine ait sonuçlar Şekil 5.8’de çizilmiştir.

Çizelge 5.8. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	31,4545	58,4379	19,7088	58,2656
2	29,9989	58,7497	25,2177	95,3900
3	34,9917	42,4176	26,5667	105,8688
4	45,9063	22,1207	23,2384	81,0034
5	34,9562	57,8785	27,4917	113,3692
6	41,9086	42,3707	28,0078	117,6659
7	26,9748	39,1827	27,8385	116,2476
8	52,9513	27,4884	24,9926	93,6949
9	38,9323	28,0272	23,8750	85,5026
10	56,9142	25,3176	22,1767	73,7706
11	59,9603	42,1192	25,8837	100,4945
12	53,9223	24,2758	23,0268	79,5349
13	49,9457	24,7977	21,7315	70,8388
14	72,9009	14,6583	16,5332	41,0021
15	52,9271	17,3785	15,7245	37,0891
16	92,9135	10,3756	10,0411	15,1235
17	76,9424	16,4896	12,7797	24,4980
18	82,9375	12,4957	10,8711	17,7271
19	91,9900	10,4242	8,0291	9,6990
20	61,9739	11,8292	8,4954	10,8258
21	74,9474	8,6552	4,9123	3,6196
22	92,9137	9,8571	5,1193	3,9312
23	61,9061	8,3481	2,1903	0,7720
24	50,9787	10,4311	4,8069	3,4660
25	62,9179	9,4671	4,4294	2,9429
26	90,9690	6,5989	0	0
27	1.,9204	8,0580	0	0
28	99,9088	6,9718	0	0
29	1.,9169	5,9735	0	0
30	1.,9932	5,9146	0	0
31	1.,9190	5,4927	0	0
32	95,9558	6,7583	0	0
33	1.,9248	4,3691	0	0
34	74,9592	5,9566	0	0
35	1.,9480	4,8609	0	0
36	1.,9695	3,3782	0	0
37	1.,9936	4,3768	0	0
38	83,9923	3,8992	0	0
39	95,9896	3,1814	0	



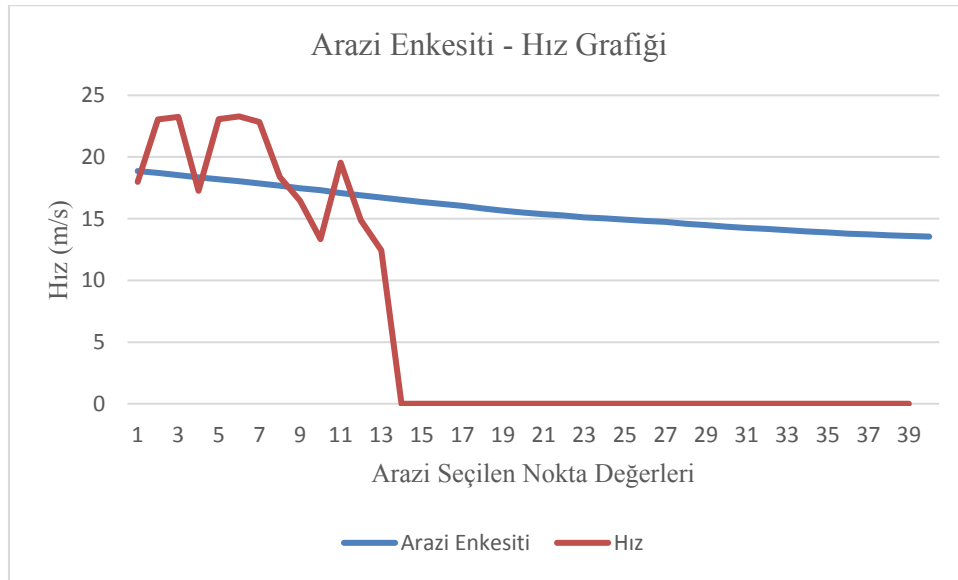
Şekil 5.6. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

Çizelge 5.9. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	31,4545	58,4379	17,9928	48,5613
2	29,9989	58,7497	23,0403	79,6283
3	34,9917	42,4176	23,2542	81,114
4	45,9063	22,1207	17,2593	44,6823
5	34,9562	57,8785	23,0699	79,8332
6	41,9086	42,3707	23,2919	81,3771
7	26,9748	39,1827	22,8461	78,2918
8	52,9513	27,4884	18,383	50,69
9	38,9323	28,0272	16,4478	40,5795
10	56,9142	25,3176	13,3519	26,7411
11	59,9603	42,1192	19,5353	57,2443
12	53,9223	24,2758	14,8751	33,1902
13	49,9457	24,7977	12,4283	23,1695
14	72,9009	14,6583	0	0
15	52,9271	17,3785	0	0
16	92,9135	10,3756	0	0
17	76,9424	16,4896	0	0
18	82,9375	12,4957	0	0
19	91,9900	10,4242	0	0
20	61,9739	11,8292	0	0
21	74,9474	8,6552	0	0
22	92,9137	9,8571	0	0

Çizelge 5.9. (devam) Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

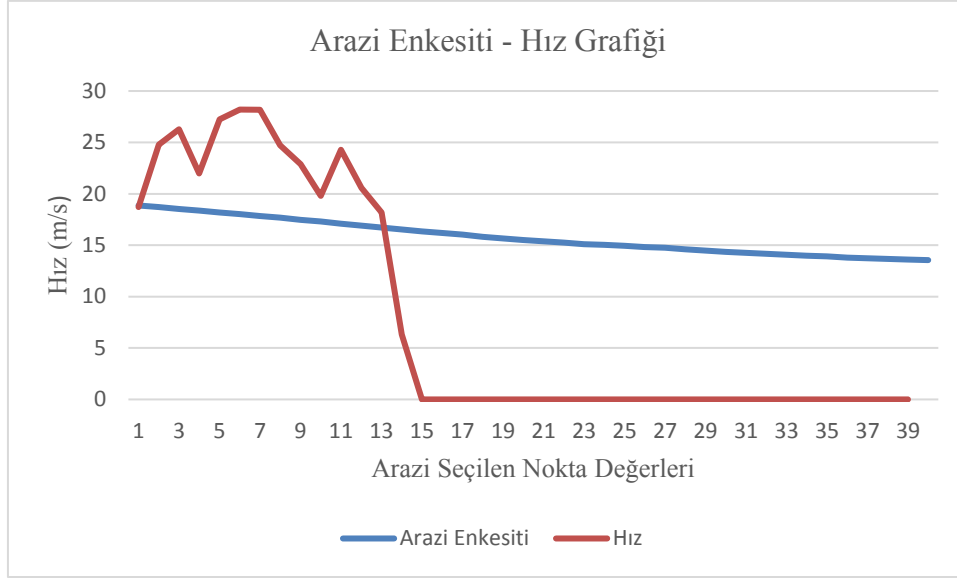
M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
23	61,9061	8,3481	0	0
24	50,9787	10,4311	0	0
25	62,9179	9,4671	0	0
26	90,9690	6,5989	0	0
27	1,9204	8,0580	0	0
28	99,9088	6,9718	0	0
29	1,9169	5,9735	0	0
30	1,9932	5,9146	0	0
31	1,9190	5,4927	0	0
32	95,9558	6,7583	0	0
33	1,9248	4,3691	0	0
34	74,9592	5,9566	0	0
35	1,9480	4,8609	0	0
36	1,9695	3,3782	0	0
37	1,9936	4,3768	0	0
38	83,9923	3,8992	0	0
39	95,9896	3,1814	0	0



Şekil 5.7. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

Çizelge 5.10. Tip -2 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	31,4545	58,4379	18,7196	52,5636
2	29,9989	58,7497	24,7829	92,1286
3	34,9917	42,4176	26,2849	103,6347
4	45,9063	22,1207	21,9922	72,5485
5	34,9562	57,8785	27,2445	111,7396
6	41,9086	42,3707	28,1943	119,8376
7	26,9748	39,1827	28,1717	119,8465
8	52,9513	27,4884	24,7157	91,6297
9	38,9323	28,0272	22,8882	78,5807
10	56,9142	25,3176	19,786	58,7227
11	59,9603	42,1192	24,2926	88,5192
12	53,9223	24,2758	20,5818	63,5414
13	49,9457	24,7977	18,1781	49,5665
14	72,9009	14,6583	6,3256	60,019
15	52,9271	17,3785	0	0
16	92,9135	10,3756	0	0
17	76,9424	16,4896	0	0
18	82,9375	12,4957	0	0
19	91,9900	10,4242	0	0
20	61,9739	11,8292	0	0
21	74,9474	8,6552	0	0
22	92,9137	9,8571	0	0
23	61,9061	8,3481	0	0
24	50,9787	10,4311	0	0
25	62,9179	9,4671	0	0
26	90,9690	6,5989	0	0
27	1.,9204	8,0580	0	0
28	99,9088	6,9718	0	0
29	1.,9169	5,9735	0	0
30	1.,9932	5,9146	0	0
31	1.,9190	5,4927	0	0
32	95,9558	6,7583	0	0
33	1.,9248	4,3691	0	0
34	74,9592	5,9566	0	0
35	1.,9480	4,8609	0	0
36	1.,9695	3,3782	0	0
37	1.,9936	4,3768	0	0
38	83,9923	3,8992	0	0
39	95,9896	3,1814	0	



Şekil 5.8. Tip -2 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

İzmir-Bozdağ Kayak Merkezi çığ güzergahlarından Kocadere patikası için yapılan analizlerin son grubunu Tip-3 çalışması oluşturmaktadır. Bunun için patika üzerinde 81 nokta ile çalışılmıştır. Bunun sebebi seçilen çözüm noktası sayısının Gazi Çığ programının sonuçlarına etkisinin tam olarak anlaşılmasıdır. Bu nedenle bir önceki bölüm sayısının iki katı büyüklüğünde yeni bölünme değeri ile çığ hattı 40'dan 81'e ulaşmıştır. Tip-3'ü oluşturan koordinatların listesi Çizelge 5.11'de verilmektedir.

Tip-1 ve Tip-2 çalışmalarında olduğu gibi Tip-3 çalışmasında da dört farklı veri kümesi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Tip-3 çığ hattı için seçilen 81 noktada M/D=1000 ve sürtünme katsayısı=0,155 değerleri için Gazi Çığ programından elde edilen eğim, hız ve basınç sonuçları Çizelge 5.12'de listelenmiştir. Hızın en yüksek değeri on sekizinci noktada 33,66 m/s olarak, basıncın en büyük değeri de yine on sekizinci noktada 269,85 kPa olarak hesaplanmıştır. Çığ son noktada durmaktadır.

Tip-3 çığ hattı için yapılan ilk analiz sonuçlarından elde edilen hız değişimi Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 81 Nokta (Tip-3)

Nokta	X Koordinat	Y Koordinat	Z Koordinat	Z Koordinatı (Düzenlenmiş)
1	596902	4239780	1960,4	19,604
2	596912	4239770	1952,5	19,525
3	596904	4239760	1940,9	19,409
4	596900	4239740	1929	19,29
5	596906	4239720	1918,8	19,188
6	596908	4239700	1908	19,08
7	596908	4239690	1899,2	18,992
8	596911	4239670	1888,4	18,884
9	596909	4239660	1878,1	18,781
10	596922	4239650	1869	18,69
11	596935	4239630	1859,9	18,599
12	596953	4239620	1851,8	18,518
13	596963	4239600	1841,5	18,415
14	596980	4239590	1831,1	18,311
15	596986	4239580	1823,6	18,236
16	597002	4239570	1812,6	18,126
17	597018	4239550	1802,8	18,028
18	597027	4239540	1793,1	17,931
19	597043	4239530	1782,8	17,828
20	597059	4239510	1772,1	17,721
21	597057	4239500	1764	17,64
22	597068	4239480	1756,2	17,562
23	597081	4239470	1747,6	17,476
24	597095	4239450	1740,3	17,403
25	597109	4239440	1733,4	17,334
26	597113	4239430	1726,2	17,262
27	597119	4239420	1719,8	17,198
28	597128	4239410	1714,6	17,146
29	597128	4239400	1707,3	17,073
30	597136	4239390	1702	17,02
31	597144	4239380	1695,7	16,957
32	597154	4239360	1689,6	16,896
33	597152	4239350	1682,6	16,826
34	597157	4239340	1675,8	16,758
35	597160	4239330	1670	16,7
36	597165	4239320	1663,9	16,639
37	597175	4239300	1657,3	16,573
38	597183	4239280	1649,9	16,499
39	597191	4239260	1645,2	16,452
40	597197	4239250	1639,7	16,397

Çizelge 5.11. (devam) Çığ Hattında Analiz İçin Seçilen 81 Nokta (Tip-3)

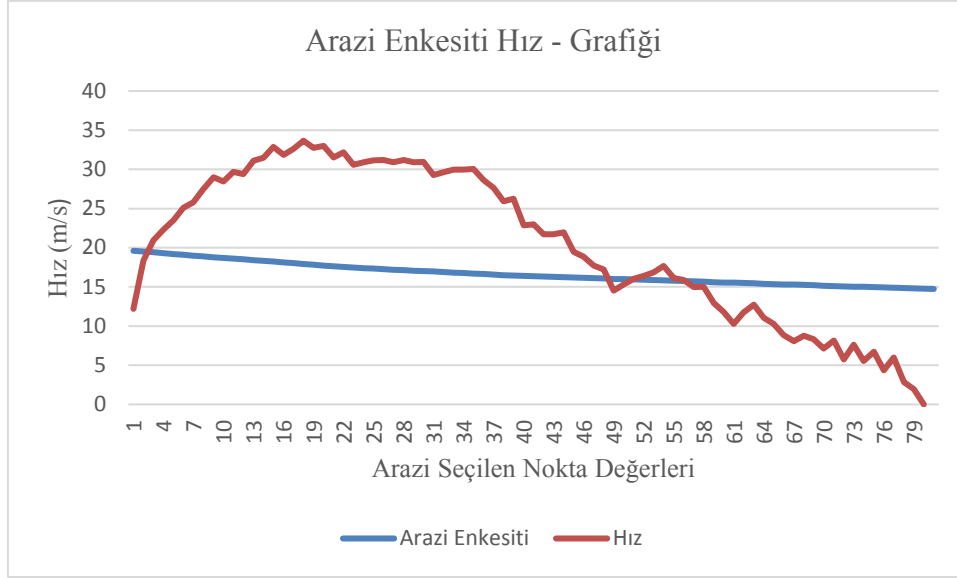
Nokta	X Koordinat	Y Koordinat	Z Koordinat	Z Koordinatı (Düzenlenmiş)
41	597203	4239220	1635,9	16,359
42	597202	4239210	1631,8	16,318
43	597203	4239190	1627,4	16,274
44	597202	4239180	1623,8	16,238
45	597207	4239170	1619,7	16,197
46	597206	4239140	1615	16,15
47	597210	4239120	1610	16,1
48	597216	4239100	1606,1	16,061
49	597221	4239080	1601,3	16,013
50	597229	4239050	1597,8	15,978
51	597233	4239040	1594,2	15,942
52	597240	4239030	1590,6	15,906
53	597244	4239020	1587,3	15,873
54	597244	4239010	1583,8	15,838
55	597242	4239000	1579,6	15,796
56	597238	4238970	1574	15,74
57	597240	4238950	1569,2	15,692
58	597245	4238930	1565,4	15,654
59	597255	4238910	1560,4	15,604
60	597262	4238880	1556,2	15,562
61	597265	4238860	1553,3	15,533
62	597270	4238830	1548,8	15,488
63	597272	4238820	1545,1	15,451
64	597276	4238800	1539,5	15,395
65	597281	4238770	1535,2	15,352
66	597288	4238750	1531,9	15,319
67	597294	4238730	1529,4	15,294
68	597302	4238700	1524,5	15,245
69	597304	4238680	1520,2	15,202
70	597320	4238650	1515	15,15
71	597329	4238620	1510,5	15,105
72	597338	4238600	1506,2	15,062
73	597348	4238570	1502,6	15,026
74	597354	4238560	1499,7	14,997
75	597356	4238530	1495,9	14,959
76	597365	4238510	1491,8	14,918
77	597375	4238480	1488,1	14,881
78	597375	4238460	1483,9	14,839
79	597384	4238430	1480,3	14,803
80	597395	4238400	1475,8	14,758
81	597405	4238380	1473,5	14,735

Çizelge 5.12. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	16,1991	38,3282	12,1874	22,2798
2	17,2789	49,2614	18,3610	50,5689
3	23,6289	30,8317	20,9577	65,6840
4	23,2608	27,1489	22,2965	74,7707
5	22,8034	28,3168	23,5016	82,8488
6	13,2943	41,2393	25,1156	94,9191
7	22,9410	28,4500	25,7835	99,9188
8	14,5087	45,9255	27,4947	113,3939
9	18,7324	42,1665	28,9923	126,3030
10	25,5306	24,4779	28,4427	221,8282
11	22,1455	39,1999	29,6876	232,3434
12	24,5980	27,1489	29,3819	229,4747
13	22,3205	46,2840	31,1272	245,5656
14	13,8763	36,9619	31,4651	148,8080
15	21,7951	47,5160	32,8606	261,3232
16	27,4377	26,2105	31,8302	251,4545
17	16,5741	44,0908	32,6382	159,7777
18	21,4867	45,8142	33,6569	269,8484
19	27,7848	28,3168	32,7424	260,9494
20	12,9862	38,8190	32,9951	163,1919
21	24,1408	21,4657	31,5102	248,3535
22	18,5099	40,6502	32,1920	155,9191
23	25,4754	20,0117	30,5624	240,8888
24	18,5516	34,7783	30,9033	143,2121
25	12,9221	35,5449	31,1576	145,9999
26	13,3026	32,6358	31,2079	146,0101
27	14,4272	27,5335	30,8957	143,1616
28	12,3751	36,1104	31,1736	145,9191
29	13,8673	28,0272	30,9106	143,9494
30	14,2588	32,1040	30,9546	143,8282
31	23,1910	17,1013	29,2655	228,0303
32	12,3806	35,0866	29,6520	131,6464
33	13,0703	34,1153	29,9533	134,0000
34	11,9578	30,2575	29,9679	134,1515
35	12,7218	31,2736	30,0478	135,0606
36	23,3257	18,3755	28,6235	222,6060
37	22,7633	20,2139	27,6500	214,8282
38	22,0496	13,2584	25,9223	200,4646
39	12,9066	28,9573	26,2648	103,6060
40	30,8243	7,1474	22,8758	78,7951

Çizelge 5.12. (devam) Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
41	10,8730	22,5499	22,9950	79,7152
42	20,4941	12,3043	21,7173	70,7462
43	10,6685	19,7074	21,7118	70,7109
44	11,9292	22,5988	21,9611	72,7432
45	30,3793	8,8712	19,4616	56,5138
46	21,0048	14,0973	18,8545	53,5234
47	21,2254	10,7911	17,7012	46,4990
48	21,1715	13,5568	17,2180	44,4683
49	31,2472	6,6955	14,5119	31,3896
50	11,3720	20,0623	15,3086	35,3530
51	12,7151	19,6057	16,0188	38,3909
52	11,2616	18,2204	16,4140	40,4128
53	10,5882	19,1976	16,8477	42,4769
54	11,0559	23,1342	17,6564	46,4623
55	30,7792	10,5789	16,1360	39,3550
56	20,6649	13,5026	15,8614	37,3373
57	20,9502	10,5697	14,9827	33,3720
58	22,9173	14,0973	15,0043	33,3694
59	31,0922	7,9924	12,9502	25,2569
60	20,4292	8,2265	11,7720	20,2862
61	30,7464	8,5538	10,2904	15,1845
62	10,8519	20,3652	11,7638	20,2580
63	21,1351	15,4906	12,7167	24,2575
64	30,7290	8,3294	11,0402	18,1823
65	21,4359	9,2066	10,2639	15,1022
66	21,0309	7,1568	8,8271	11,1871
67	31,4326	9,2811	8,0671	9,9612
68	20,5525	12,1126	8,7661	11,1262
69	34,3969	9,8571	8,3192	10,1818
70	31,6425	8,5351	7,1427	7,7525
71	22,3493	12,1400	8,1375	9,9322
72	31,8327	6,9404	5,7522	4,4639
73	12,0051	15,9156	7,6246	8,8205
74	30,3045	7,2039	5,5320	4,4902
75	22,3135	11,6185	6,7404	6,6151
76	31,8443	7,1286	4,3355	2,2191
77	20,4362	11,8658	5,9893	5,5801
78	31,5215	6,7520	2,8235	1,1957
79	32,2712	8,5725	1,9409	0,0565
80	22,4766	6,5069	0	0



Şekil 5.9. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

Tip-3 çığ hattı için ikinci çalışma seçeneğinde M/D değeri 600 olarak seçilmiştir. Bu çalışmada sürtünme katsayısı değeri 0,155'tir. Bu verilerle yapılan analiz sonuçlarından elde edilen eğim, hız ve basınç değerleri Çizelge 5.13'te verilmektedir. Analiz sonuçlarından hız değerinin en yüksek on sekizinci noktada 27,17 m/s'ye ulaştığı, basınç değerinin aynı noktada 110,72 kPa ile en yüksek değerini aldığı anlaşılmaktadır. Yetmiş sekizinci noktada hız değeri sıfır olduğundan bu bölüm çığın durma noktası olarak tespit edilmiştir.

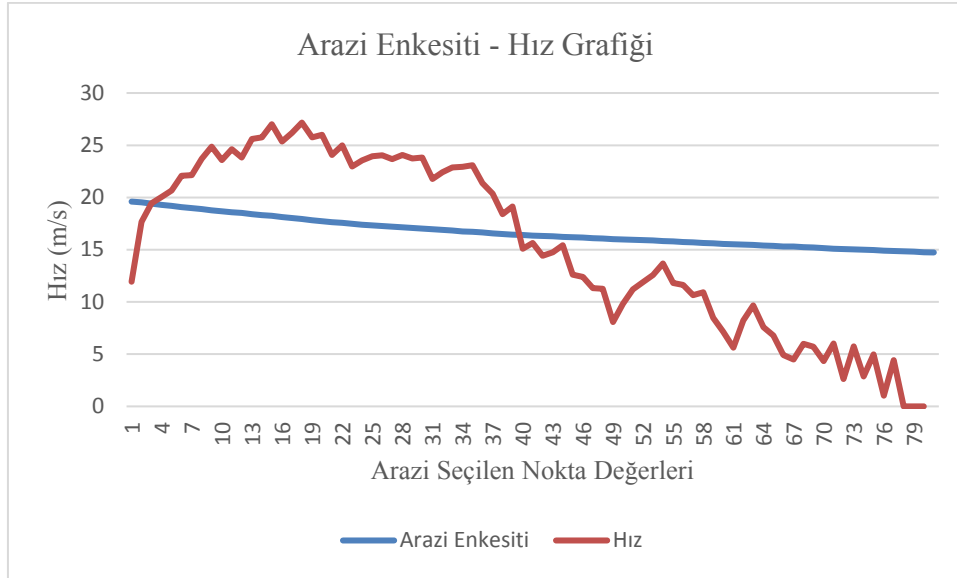
Tip-3 çığ hattı ikinci analiz sonuçlarından elde edilen hız değişim durumu Şekil 5.10'da sunulmaktadır.

Çizelge 5.13. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	16,1991	38,3282	11,9344	21,3644
2	17,2789	49,2614	17,6583	46,7724
3	23,6289	30,8317	19,4508	56,7498
4	23,2608	27,1489	20,0571	60,3428
5	22,8034	28,3168	20,6659	64,062
6	13,2943	41,2393	22,0758	73,1009
7	22,9410	28,4500	22,1519	73,606
8	14,5087	45,9255	23,714	84,3529
9	18,7324	42,1665	24,878	92,8375
10	25,5306	24,4779	23,5855	83,4417
11	22,1455	39,1999	24,6279	90,9797
12	24,5980	27,1489	23,8294	85,176
13	22,3205	46,2840	25,588	98,2116
14	13,8763	36,9619	25,7438	99,4118
15	21,7951	47,5160	27,0242	109,5461
16	27,4377	26,2105	25,3551	96,4321
17	16,5741	44,0908	26,1887	102,8768
18	21,4867	45,8142	27,1686	110,7195
19	27,7848	28,3168	25,7573	99,5155
20	12,9862	38,8190	26,0056	101,4434
21	24,1408	21,4657	24,0805	86,9807
22	18,5099	40,6502	24,9951	93,713
23	25,4754	20,0117	22,9795	79,2083
24	18,5516	34,7783	23,5611	83,2692
25	12,9221	35,5449	23,942	85,983
26	13,3026	32,6358	24,0365	86,663
27	14,4272	27,5335	23,6692	84,0349
28	12,3751	36,1104	24,059	86,8253
29	13,8673	28,0272	23,7444	84,5698
30	14,2588	32,1040	23,8341	85,2099
31	23,1910	17,1013	21,7721	71,1036
32	12,3806	35,0866	22,4085	75,3209
33	13,0703	34,1153	22,8814	78,5338
34	11,9578	30,2575	22,9474	78,9876
35	12,7218	31,2736	23,0897	79,9702
36	23,3257	18,3755	21,3706	68,5055
37	22,7633	20,2139	20,3507	62,1223
38	22,0496	13,2584	18,3855	50,704
39	12,9066	28,9573	19,121	54,8418
40	30,8243	7,1474	15,0931	34,1701

Çizelge 5.13. (devam) Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,155
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
41	10,8730	22,5499	15,6444	36,712
42	20,4941	12,3043	14,4182	31,1827
43	10,6685	19,7074	14,7516	32,6415
44	11,9292	22,5988	15,4193	35,6633
45	30,3793	8,8712	12,6116	23,8578
46	21,0048	14,0973	12,3963	23,0504
47	21,2254	10,7911	11,3332	19,2661
48	21,1715	13,5568	11,2743	19,0664
49	31,2472	6,6955	8,0648	97,562
50	11,3720	20,0623	9,8352	14,5096
51	12,7151	19,6057	11,1847	18,7648
52	11,2616	18,2204	11,8982	21,2351
53	10,5882	19,1976	12,5795	23,7364
54	11,0559	23,1342	13,675	28,0508
55	30,7792	10,5789	11,81	20,9215
56	20,6649	13,5026	11,6266	20,2766
57	20,9502	10,5697	10,646	17,0007
58	22,9173	14,0973	10,9349	17,9357
59	31,0922	7,9924	8,4699	10,7609
60	20,4292	8,2265	7,1405	76,481
61	30,7464	8,5538	5,6174	47,333
62	10,8519	20,3652	8,2127	10,1172
63	21,1351	15,4906	9,6629	14,0057
64	30,7290	8,3294	7,5988	86,612
65	21,4359	9,2066	6,776	68,872
66	21,0309	7,1568	4,9148	36,233
67	31,4326	9,2811	4,4753	30,043
68	20,5525	12,1126	5,9789	53,621
69	34,3969	9,8571	5,7055	48,829
70	31,6425	8,5351	4,3409	28,265
71	22,3493	12,1400	6,0192	54,347
72	31,8327	6,9404	2,6191	10,29
73	12,0051	15,9156	5,7495	49,585
74	30,3045	7,2039	2,8562	12,237
75	22,3135	11,6185	4,979	37,185
76	31,8443	7,1286	1,0291	0,11589
77	20,4362	11,8658	4,4382	29,547
78	31,5215	6,7520	0	0
79	32,2712	8,5725	0	0
80	22,4766	6,5069	0	0



Şekil 5.10. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

Tip-3 çığ hattına ait üçüncü grup analizde $M/D=600$, sürtünme katsayısı=0,4 değerleri kullanılmıştır. Bu verilerle yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.14’te verilen eğim, hız ve basınç değerleri ile sonuçlanmıştır. Analiz sonuçlarında hız en yüksek değerine on sekizinci noktada 23,22 m/s ile ulaşırken, basınç yine aynı kesitte en yüksek değerine 81,11 kPa ile ulaşmaktadır. Hız değeri altmış dördüncü noktada sıfır olduğundan bu bölüm çığın durma noktası olarak tespit edilmiştir.

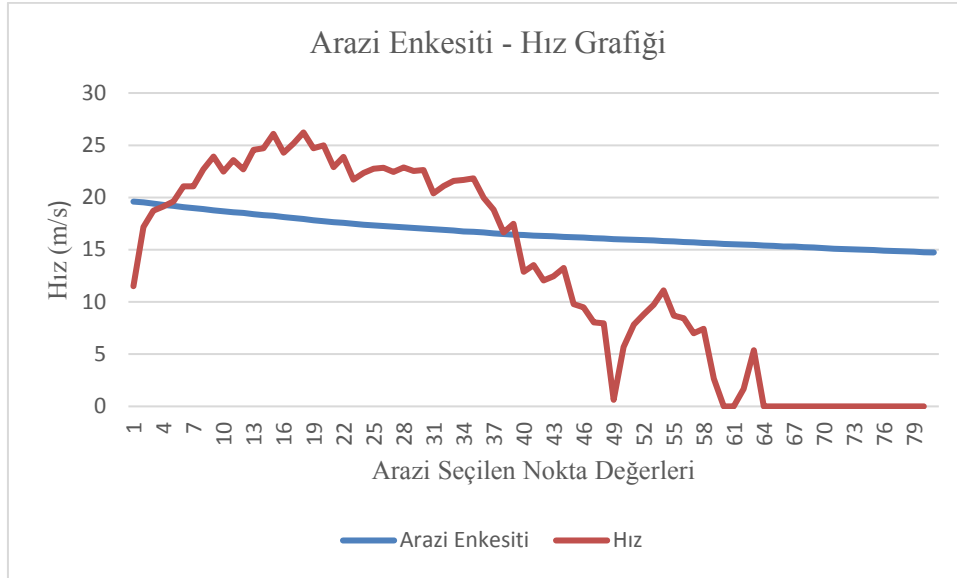
Şekil 5.11, Tip-3 çığ hattı üçüncü analiz sonuçlarından çıkarılan hız değişim durumunu göstermektedir.

Çizelge 5.14. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	16,1991	38,3282	11,5037	19,8504
2	17,2789	49,2614	17,1727	44,2354
3	23,6289	30,8317	18,7249	52,5931
4	23,2608	27,1489	19,1376	54,9374
5	22,8034	28,3168	19,6267	57,781
6	13,2943	41,2393	21,0755	66,6265
7	22,9410	28,4500	21,0612	66,5361
8	14,5087	45,9255	22,7025	77,3108
9	18,7324	42,1665	23,9059	85,7242
10	25,5306	24,4779	22,4755	75,7722
11	22,1455	39,1999	23,5659	83,3026
12	24,5980	27,1489	22,6824	77,1739
13	22,3205	46,2840	24,5631	90,5016
14	13,8763	36,9619	24,7202	91,6632
15	21,7951	47,5160	26,0844	102,0591
16	27,4377	26,2105	24,2911	88,5084
17	16,5741	44,0908	25,1806	95,1092
18	21,4867	45,8142	26,2249	103,1616
19	27,7848	28,3168	24,7103	91,5899
20	12,9862	38,8190	24,9729	93,5472
21	24,1408	21,4657	22,9076	78,7134
22	18,5099	40,6502	23,8894	85,6052
23	25,4754	20,0117	21,7175	70,7475
24	18,5516	34,7783	22,3419	74,8743
25	12,9221	35,5449	22,7504	77,6374
26	13,3026	32,6358	22,8494	78,314
27	14,4272	27,5335	22,4508	75,6055
28	12,3751	36,1104	22,8702	78,4572
29	13,8673	28,0272	22,5291	76,134
30	14,2588	32,1040	22,6241	76,7777
31	23,1910	17,1013	20,3943	62,389
32	12,3806	35,0866	21,0864	66,6954
33	13,0703	34,1153	21,5982	69,9723
34	11,9578	30,2575	21,6677	70,4233
35	12,7218	31,2736	21,8201	71,4174
36	23,3257	18,3755	19,9531	59,7191
37	22,7633	20,2139	18,8319	53,1958
38	22,0496	13,2584	16,651	41,5886
39	12,9066	28,9573	17,4725	45,7933
40	30,8243	7,1474	12,8711	24,8496

Çizelge 5.14. (devam) Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
41	10,8730	22,5499	13,5182	27,4113
42	20,4941	12,3043	12,0514	21,7854
43	10,6685	19,7074	12,45	23,2503
44	11,9292	22,5988	13,2425	26,3045
45	30,3793	8,8712	9,7801	14,3475
46	21,0048	14,0973	9,4903	13,5098
47	21,2254	10,7911	8,03	9,6722
48	21,1715	13,5568	7,9402	9,4571
49	31,2472	6,6955	0,6317	0,0599
50	11,3720	20,0623	5,6949	4,8647
51	12,7151	19,6057	7,8165	9,1647
52	11,2616	18,2204	8,8159	11,658
53	10,5882	19,1976	9,7246	14,1852
54	11,0559	23,1342	11,1226	18,5567
55	30,7792	10,5789	8,6935	11,3366
56	20,6649	13,5026	8,4356	10,6739
57	20,9502	10,5697	7,0041	7,3586
58	22,9173	14,0973	7,4368	8,2959
59	31,0922	7,9924	2,6513	1,0544
60	20,4292	8,2265	0	0
61	30,7464	8,5538	0	0
62	10,8519	20,3652	1,6596	0,4131
63	21,1351	15,4906	5,3753	4,334
64	30,7290	8,3294	0	0
65	21,4359	9,2066	0	0
66	21,0309	7,1568	0	0
67	31,4326	9,2811	0	0
68	20,5525	12,1126	0	0
69	34,3969	9,8571	0	0
70	31,6425	8,5351	0	0
71	22,3493	12,1400	0	0
72	31,8327	6,9404	0	0
73	12,0051	15,9156	0	0
74	30,3045	7,2039	0	0
75	22,3135	11,6185	0	0
76	31,8443	7,1286	0	0
77	20,4362	11,8658	0	0
78	31,5215	6,7520	0	0
79	32,2712	8,5725	0	0
80	22,4766	6,5069	0	0



Şekil 5.11. Tip -3 için M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

Tip-3 çığ hattında yapılan son analizde $M/D = 1000$ ve sürtünme katsayısı $= 0,4$ kullanılmıştır. Programdan elde edilen eğim, hız ve basınç hesaplama sonuçları Çizelge 5.15'te listelenmiştir. Çizelgedeki sonuçlara göre hız değeri en yüksek seviyesine 27,99 m/s değeri ile on sekizinci noktada ulaşmıştır. Basınç etkisi de on sekizinci noktada en yüksek değerine 119,76 kPa ile ulaşmaktadır. Elli dokuzuncu noktada hız sıfır olduğundan çığ bu noktada durmaktadır.

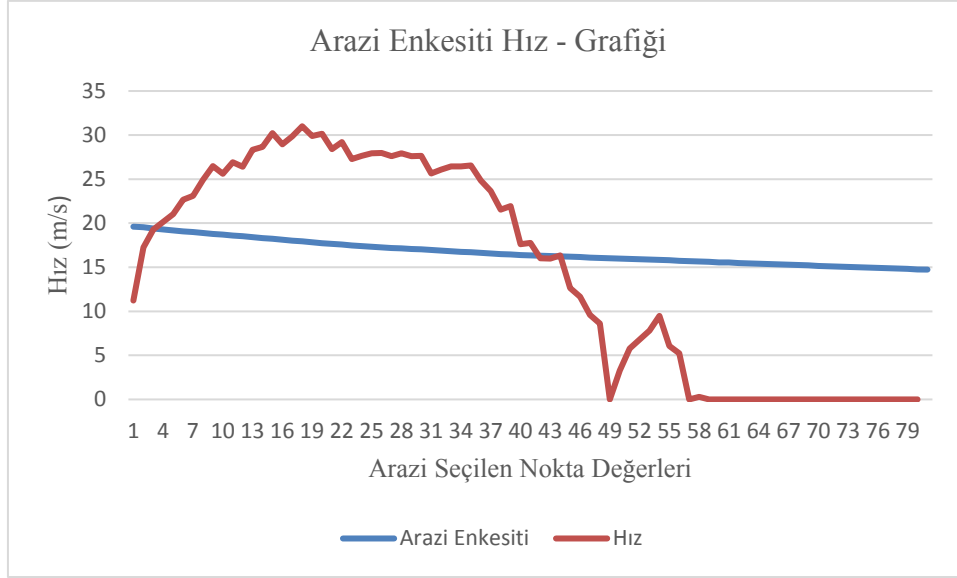
Tip-3 çığ hattı son analiz sonuçları dikkate alınarak oluşturulan boy kesit- hız değişimi Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
1	16,1991	38,3282	8,2388	18,1681
2	17,2789	49,2614	13,2665	41,4165
3	23,6289	30,8317	15,2999	47,9746
4	23,2608	27,1489	16,1623	48,9315
5	22,8034	28,3168	17,0384	50,8022
6	13,2943	41,2393	18,682	59,4328
7	22,9410	28,4500	18,9001	58,6807
8	14,5087	45,9255	19,9278	69,4862
9	18,7324	42,1665	21,4702	77,8204
10	25,5306	24,4779	21,6081	67,2506
11	22,1455	39,1999	22,1016	74,7724
12	24,5980	27,1489	22,3962	68,2827
13	22,3205	46,2840	22,9418	81,935
14	13,8763	36,9619	22,6749	83,0537
15	21,7951	47,5160	21,2271	93,7402
16	27,4377	26,2105	22,9579	79,7043
17	16,5741	44,0908	22,8587	86,4784
18	21,4867	45,8142	23,9977	94,7639
19	27,7848	28,3168	21,8917	82,7838
20	12,9862	38,8190	22,1634	84,7737
21	24,1408	21,4657	22,4142	69,5276
22	18,5099	40,6502	22,1891	76,5965
23	25,4754	20,0117	21,2645	61,3467
24	18,5516	34,7783	21,6444	65,5466
25	12,9221	35,5449	21,9305	68,3645
26	13,3026	32,6358	21,9766	69,0374
27	14,4272	27,5335	21,5975	66,2395
28	12,3751	36,1104	21,9161	69,1593
29	13,8673	28,0272	20,597	66,761
30	14,2588	32,1040	20,6394	67,4086
31	23,1910	17,1013	20,6398	52,7061
32	12,3806	35,0866	22,0953	57,1114
33	13,0703	34,1153	22,4472	60,4595
34	11,9578	30,2575	22,4577	60,9074
35	12,7218	31,2736	22,5461	61,9142
36	23,3257	18,3755	22,844	49,9564
37	22,7633	20,2139	22,6576	43,2775
38	22,0496	13,2584	21,5308	31,4604
39	12,9066	28,9573	21,9521	35,7394
40	30,8243	7,1474	17,6147	14,4935

Çizelge 5.15. (devam) Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için çıktılar

M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,4
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız (m/s)	Basınç (kPa)
41	10,8730	22,5499	17,7642	17,0772
42	20,4941	12,3043	16,0079	11,3439
43	10,6685	19,7074	15,9903	12,8156
44	11,9292	22,5988	16,3288	15,9058
45	30,3793	8,8712	12,6475	3,7804
46	21,0048	14,0973	11,6441	2,9093
47	21,2254	10,7911	9,5929	-0,9878
48	21,1715	13,5568	8,6222	-1,2198
49	31,2472	6,6955	0	-10,7139
50	11,3720	20,0623	3,2626	-5,8518
51	12,7151	19,6057	5,7708	-1,502
52	11,2616	18,2204	6,8036	1,0168
53	10,5882	19,1976	7,808	3,5728
54	11,0559	23,1342	9,4656	8,0077
55	30,7792	10,5789	6,0594	0,6866
56	20,6649	13,5026	5,2429	0,0043
57	20,9502	10,5697	0	0
58	22,9173	14,0973	0,2904	-2,4151
59	31,0922	7,9924	0	0
60	20,4292	8,2265	0	0
61	30,7464	8,5538	0	0
62	10,8519	20,3652	0	0
63	21,1351	15,4906	0	0
64	30,7290	8,3294	0	0
65	21,4359	9,2066	0	0
66	21,0309	7,1568	0	0
67	31,4326	9,2811	0	0
68	20,5525	12,1126	0	0
69	34,3969	9,8571	0	0
70	31,6425	8,5351	0	0
71	22,3493	12,1400	0	0
72	31,8327	6,9404	0	0
73	12,0051	15,9156	0	0
74	30,3045	7,2039	0	0
75	22,3135	11,6185	0	0
76	31,8443	7,1286	0	0
77	20,4362	11,8658	0	0
78	31,5215	6,7520	0	0
79	32,2712	8,5725	0	0
80	22,4766	6,5069	0	0

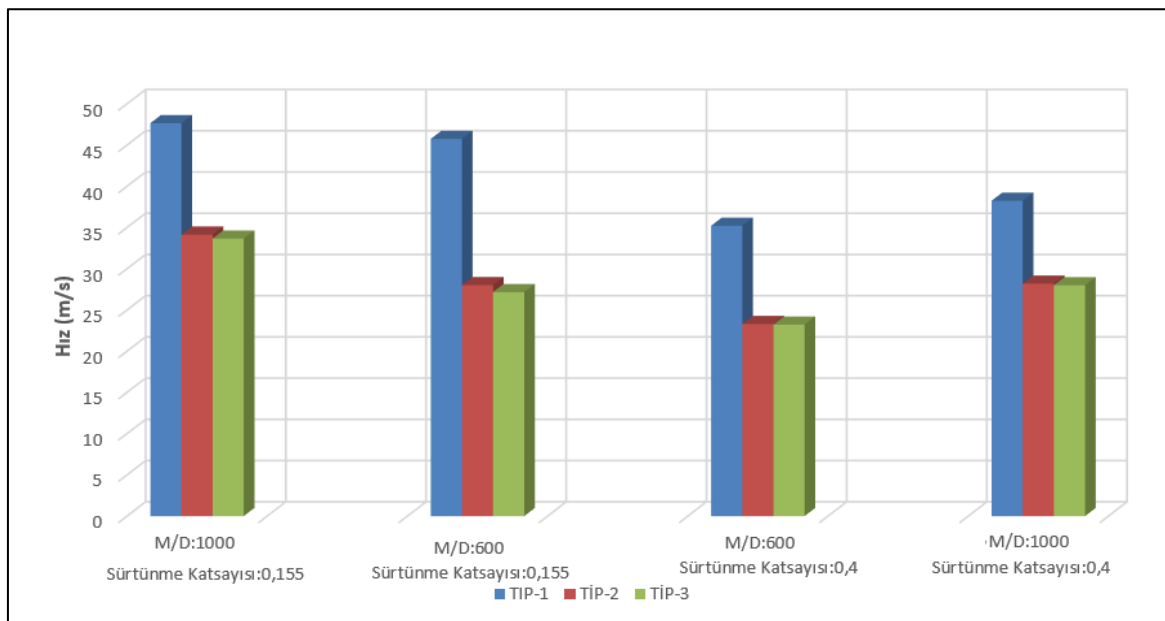


Şekil 5.12. Tip -3 için M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

Çizelge 5.16. Kocadere Çığ hattı için Gazi Çığ Program çıktıları

Nokta Sayısı	M/D Değeri	Sürtünme Katsayısı	Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Basınç (kPa)
11 (Tip-1)	1000	0,155	47,65	408,56
	600	0,155	45,74	711,76
	600	0,4	35,22	187,08
	1000	0,4	38,25	227,51
40 (Tip-2)	1000	0,155	34,14	192,42
	600	0,155	28,01	117,67
	600	0,4	23,29	81,38
	1000	0,4	28,19	119,85
81 (Tip-3)	1000	0,155	33,66	269,85
	600	0,155	27,17	110,72
	600	0,4	23,22	81,11
	1000	0,4	27,99	119,76

Gazi Çığ yazılımının İzmir, Bozdağ Kayak Merkezi'nde yer alan Kocadere Çığ Hattı için tüm analiz sonuçları Çizelge 5.16'da listelenmiştir. Elde edilen bu analiz sonuçlarından araziyi tanımlamak amacıyla kullanılan nokta sayısının artırılması ile çığa ait hesaplanan en büyük hızların (genelde tüm hızlar için de söylenebilir) ve basınçların değerlerinde azalma kaydedilmiştir. Örneğin Çizelge 5.16'da Tip-1'e ait ilk uygulamada maksimum hız 47,65 m/s iken 81 nokta sayısı kullanılan Tip-3 uygulamasında hız sonucu 33,66 m/s değerine düşmektedir. Benzer durum basınç değerleri için de söylenebilir. Aynı örnekte ilk basınç değeri 408,56 kPa iken 81 nokta kullanıldığında basınç 110 kPa değerine düşmektedir. Bu durum Grafik 5.13'te çizilen genel durumda da açıkça görülmektedir. Grafik 5.13'ten optimum bölünme sayısı sonuçları da görülmektedir. Yani çığ güzergahı 11 bölünme ile analizler gerçekleştirildiğinde elde edilen hız ve basınç sonuçları ile 40 ve 81 bölünme sonucunda elde edilen hız ve basınç sonuçları arasında oldukça büyük farklar oluşmaktadır. Örneğin $M/D=600$, sürtünme değeri=0,155 durumunda Tip-1 ile Tip-3 hız sonuçları arasında % 41,5 fark olduğu hesaplanmıştır. Aynı durum için basınç değerinde % 51,4'lük bir fark oluşmaktadır. Aynı veriler dikkate alındığında Tip-2 ile Tip-3 arasında hızlar açısından % 1,4, basınç için % 28,7 fark oluşmaktadır. Bu durum Gazi Çığ programında çalışılacak çığ hattında bölünme sayısı artırıldıkça elde edilecek sonuçların güvenilirliğinin de sağlandığını göstermektedir. Literatürde çözüm ağı ile çalışan diğer programlarda da benzer durum mevcuttur. Bu nedenle Kocadere çığ güzergâh uzunluğu dikkate alındığında yaklaşık 40 bölünme sayısının yeterli olacağı söylenebilir.



Şekil 5.13. Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 Hatlarının Sürtünme Parametrelerine Göre Hız Değişimi

Çizelge 5.16 ve Şekil 5.13'te özetlenen sonuçlardan hem M/D hem de sürtünme katsayısının hızlar ve basınçlar üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. M/D değeri azalırken maksimum hız değeri düşmektedir. Örneğin Tip-2 sonuçları karşılaştırıldığında sürtünme katsayısının 0,155 değeri için M/D değeri 1000'den 600'e düşürüldüğünde hız sonuçlarında %21,9 azalma görülmektedir. Aynı durum basınç sonuçları için söylenemez. Sürtünme katsayısı değeri büyüdükçe beklendiği üzere hız ve basınç değerlerinde düşme eğilimi görülmektedir. Tip-2 sonuçlarından M/D değerinin 600 olduğu durum için sürtünme katsayısı 0,155 değerinden 0,4'e artırıldığında çığ hızında %20,3 azalma olduğu hesaplanmıştır.

Gazi Çığ yazılımı çıktılarının bir başka değerlendirmesi aynı hat üzerinde literatürde daha önceden RAMMS programı ile yapılan bir çalışmaya ait sonuçlarla karşılaştırılarak yapılmıştır. Demir (2018), Kocadere hattı üzerinde oluşmuş çığ olayı için RAMMS modelini kullanarak birçok farklı fiziksel durumu dikkate alan kapsamlı analizler gerçekleştirmiştir. Analizler çığ akım derinliği, çığ hızı ve çığ etki basıncı, akan kar kütlesi yoğunluğu, kopan (kırılan) kar derinliği, çığ tekerrür periyodu, kullanılan sayısal harita ölçeği ve yine kullanılan ölçekle birlikte sayısal harita çözünürlüğü (10x10 m veya 20x20 m) gibi birçok parametre etkisindeki değişimleri dikkate alan oldukça kapsamlı bir araştırmadır. Bu nedenle Demir'in Kocadere çığ güzergahı için elde ettiği tüm analizler değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Demir (2018)'in çalışma sonuçlarından harita ölçeği, kar yoğunluğu, SYM çözünürlüğü ve kopma derinliklerine bağlı olarak RAMMS programından elde ettiği maksimum hız sonuçları Çizelge 5.17'de özetlenmiştir. Benzer şekilde harita ölçeği, kopma derinliği, SYM çözünürlüğü ve kar yoğunluklarına bağlı olarak elde edilen maksimum basınç değerlerine ait aralıklar Çizelge 5.18'de verilmektedir.

Burada belirtilmesi gereken bir önemli husus Demir (2018) tarafından gerçekleştirilen doktora tez çalışmasında RAMMS programının oluşturduğu Kocadere çığ güzergahı ile bu çalışmada Gazi Çığ programında kullanılan çığ güzergahı bire-bir çakışmamaktadır. Her iki çalışma kapsamında seçilen Kocadere hattı aynı alanda olmakla birlikte noktasal koordinatlar olarak farklılıklar sergilemektedir. Bu durum çalışma sonuçlarının karşılaştırılmasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Çizelge 5.17. Demir (2018)'e ait Bozdağ, Kocadere Çığ hattı için RAMMS program çıktıları, maksimum hızlar (m/s)

Harita Ölçeği	Kar yoğunluğu aralığı (kg/m ³)	SYM-Çözünürlük m x m	Kopma Derinliği (m)	RAMMS sonuçları Maksimum Hız V_{max} (m/s)
1/25.000	400 - 200	10 x10	1,60	31,87
			1,40	30,98
			1,20	29,90
			1,00	28,46
			0,80	26,55
			0,60	23,86
1/25.000	400 - 200	20 x20	1,60	27,91
			1,40	26,82
			1,20	25,47
			1,00	23,89
			0,80	21,89
			0,60	19,31
1/5.000	400 - 200	10 x10	1,60	32,19
			1,40	30,81
			1,20	29,14
			1,00	27,19
			0,80	25,23
			0,60	23,15
1/5.000	400 - 200	20 x20	1,60	27,64
			1,40	26,54
			1,20	25,35
			1,00	24,09
			0,80	22,49
			0,60	20,28

Demir (2018)'in çalışmasında kullandığı RAMMS programının özellikleri ve çalışma prensibi daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Buna göre Gazi Çığ Programı ile RAMMS programı arasındaki en önemli farklardan bir tanesi kopma derinliğine bağlı olarak hız değişimlerinin elde edilmesidir. Yani RAMMS programı kopma derinliğine bağlı olarak farklı hız değerleri hesaplarken Gazi Çığ Programında bu durum söz konusu değildir. Bununla birlikte arazide oluşacak kopma derinliğinin çığ başlangıcı öncesinde tespiti veya tahmin edilmesi mümkün değildir. Demir çalışmasında da belirttiği gibi arazi tespitleri ve çığ sonrası çekilen özel fotoğraflardan bazı tespitler yapabilmektedir.

Çizelge 5.17’de özetlenen hız sonuçları incelendiğinde kullanılan altlıklar (Harita ölçeği ve SYM çözünürlüğü) ve kar yoğunluğu, kopma derinliği gibi fiziksel özelliklerin değerlerine bağlı olarak RAMMS programı 31,87 m/s ile 19,31 m/s arasında değişen değerlere sahip hız sonuçları üretmektedir. Gazi Çığ programında kullanılan nokta sayısından bağımsız olması açısından Çizelge 5.16’da Tip-3 verileri dikkate alındığında M/D ve sürtünme parametrelerine bağlı olarak maksimum hızın 33,66 m/s ile 23,22 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Her iki programdan elde edilen maksimum hızların ortalamaları dikkate alındığında aralarında %10 farklılık olduğu söylenebilir. Bu durum Gazi Çığ programının Kocadere çığ güzergahı için yapılan analizlerden elde edilen hız sonuçlarının RAMMS program sonuçları ile oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.18. Demir (2018)’e ait Bozdağ, Kocadere Çığ hattı için RAMMS program çıktıları, maksimum basınçlar (kPa)

Harita Ölçeği	Kopma derinliği aralığı m x m	SYM-Çözünürlük m x m	Kar yoğunluğu (kg/m ³)	RAMMS sonuçları Maksimum Basınç Aralığı P_{max} (kPa)
1/25.000	1,60 - 0,80	10 x10	400	406,33 – 227,75
			350	355,54 – 199,28
			300	304,75 – 170,81
			250	253,95 – 142,34
			200	203,16 – 113,87
1/25.000	1,60 - 0,80	20 x20	400	311,52 – 149,11
			350	272,58 – 130,47
			300	233,64 – 111,83
			250	194,70 – 93,19
			200	155,76 -74,55
1/5.000	1,60 - 0,80	10 x10	400	414,49 – 214,35
			350	362,68 – 187,55
			300	310,87 – 160,76
			250	259,05 – 133,97
			200	207,24 – 107,17
1/5.000	1,60 - 0,80	20 x20	400	305,51 – 164,49
			350	267,32 – 143,93
			300	229,14 – 123,37
			250	190,95 – 102,81
			200	152,76 – 82,25

Gazi Çığ program çıktılarından itki basıncına ait bir değerlendirme çığ hızları için yapılan değerlendirmeye benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.18’de özetlenen RAMMS program sonuçlarına göre maksimum çığ itki basınçları 414,49 kPa ile 74,55 kPa arasında oldukça geniş bir aralıkta sonuçlar üretmiştir. Gazi Çığ program sonuçları Kocadere güzergahı için itki basınçlarının 269,85 kPa ile 81,11 kPa arasında değiştiğini göstermektedir. Her iki programdan elde edilen maksimum basınçların ortalamaları dikkate alındığında aralarında yaklaşık olarak %28’lik farklılık olduğu söylenebilir. Bu durumun güzergâh boyunca değişen akım derinliklerini hesaplayabilen RAMMS programında basınç etkisinin hesaplanmasında dikkate alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Basınç ile ilgili değerlendirmeye literatürde yapılan diğer çalışmalar dikkate alınarak devam edilmiştir. Örneğin Mc.Clung ve Schaerer (2006) genel durumu yansıtan basınç- hasar ilişkisini bir çizelge yardımı ile tanımlamışlardır. Çizelge 5.19 çığın çarpa anındaki itki basıncı ile potansiyel hasar ilişkisini ifade etmektedir.

Çizelge 5.19. Çığ basıncı-potansiyel hasar ilişkisi (Mc. Clung ve Schaerer, 2006)

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

Gauer ve Kristensen (2014), Ryggfonn isimli test sahasında uzun süreli gerçek arazi ölçümlerinden elde edilen deneyimleri sundukları çalışmalarında maksimum hızların 35 m/s - 38 m/s arasında olduğu çıglarda kaydedilen basınç değerlerinin 90 kPa – 170 kPa arasında olduğunu belirtmektedir. Benzer bir çalışma Sovilla ve diğ. (2008) tarafından İsviçre’de test sahası olarak kullanılan Vallée de la Sionne isimli vadide gerçekleştirilen gerçek zamanlı sonuçları sunmaktadır. Bu çalışma sonuçlarından 10 m/s-30 m/s arasındaki çığ hızlarının oluşturduğu basınçların 100 kPa ile 600 kPa arasında değişim gösterdiği kaydedilmiştir.

Literatürde gerçek arazi ölçeğinde kaydedilen basınç sonuçları ve RAMMS program sonuçları dikkate alındığında oluşan basınç değerlerinin oldukça geniş bir aralıkta oluştuğu anlaşılmaktadır. Meteorolojik şatlar, karın fiziksel özellikleri ve arazi yapısına bağlı olarak literatürde kaydedilen basınç değerleri dikkate alındığında Gazi Çığ programının ürettiği basınç değerlerinin literatür sonuçları ile uyumlu olduğu ifade edilebilir.

Gazi Çığ program sonuçlarının değerlendirilmesi için kullanılacak bir başka uygulama sahası Arslan (2014) tarafından yüksek lisans tez çalışması kapsamında Trabzon'un Güney Doğusunda, 100 km uzaklıkta bulunan Uzungöl beldesindeki Dorinori güzergahıdır. Uzungöl beldesi, kuzeyde, Haznekapı Tepe (2004 m.), Kanlıyatak Tepe (2460 m.), batıda, Sivri Tepenin kuzeybatıya uzanan sırtları, güneyde, Lustra Tepenin kuzey yamaçları (2395 m.), doğuda ise Kanlıyatak Tepenin doğu sırtları ile çevrilmiş göl aynası 1100 m rakımlı oldukça yüksek topoğrafyada yer alan bir doğal gölden ismini almaktadır. 1992 kış mevsiminden bugüne kadar hem can kaybı hem de maddi kayıpların oluştuğu çığlar kaydedilmiştir.

Arslan (2014) çalışmasında Uzungöl'de bulunan çığ güzergahlardan bazı ölçümlerin (hasar ve durma mesafesi) kaydedildiği Dorinori güzergahını tercih etmiş ve 1-boyutlu profil üzerinde çığ akışını simüle eden AVAL-1D programını uygulamıştır. Programın öncelikli verisi arazinin programa tanıtılması için gerekli koordinatlardır. Bu kapsamda Dorinori çığ hattına ait koordinatlar Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Uzungöl –Dorinori (7 nolu) çığ hattı koordinatları (Arslan, 2014)

X	Y	Z
613157,9	4498446	2450
613093,1	4498424,5	2430
613040,1	4498408	2400
612960	4498384	2350
612884,1	4498359,5	2300
612806,1	4498336,5	2250
612723,6	4498317,5	2200
612643,8	4498280	2150
612572,7	4498246	2100
612507,1	4498223	2050
612441,5	4498198	2000
612390,5	4498181	1970

Çizelge 5.20. (devam) Uzungöl –Dorinori (7 nolu) çığ hattının koordinatları (Arslan, 2014)

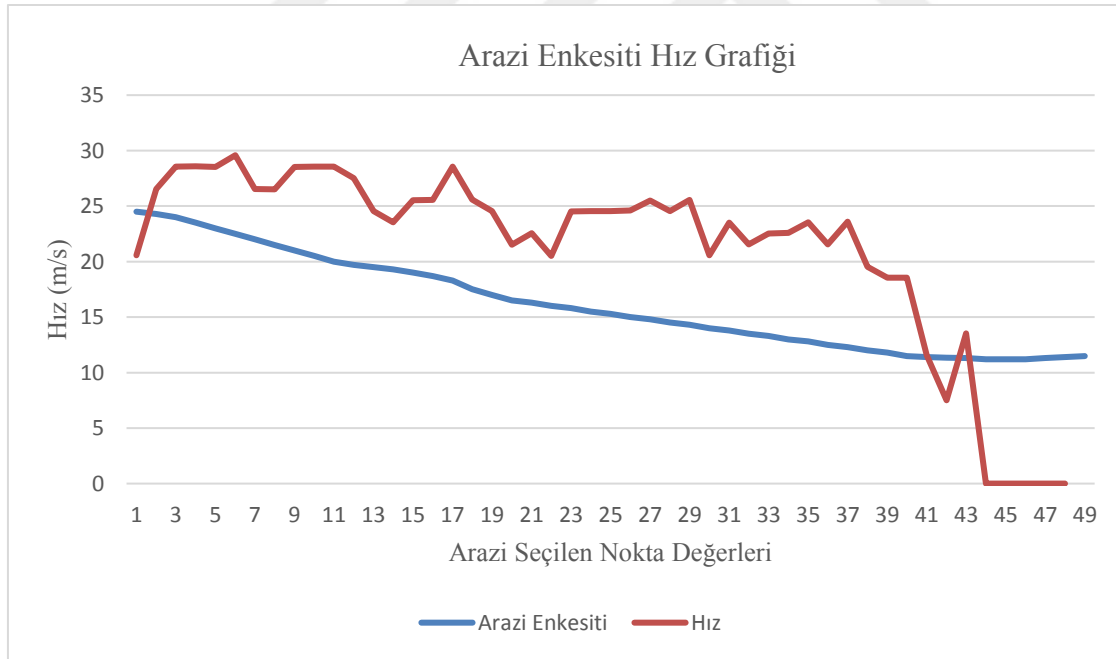
X	Y	Z
612355,8	4498169	1950
612308,7	4498145,5	1930
612351,6	4498112	1900
612198,3	4498085,5	1870
612128,6	4498054	1830
612061,6	4498017	1750
611982	4497970	1700
611895,8	4497921,5	1650
611843,6	4497892,5	1630
611783,2	4497856	1600
611724,3	4497823	1580
611683	4497798,5	1550
611646,2	4497778	1530
611599,1	4497751,5	1500
611574	4497730,5	1480
611546,1	4497709,5	1450
611520,2	4497689	1430
611488,6	4497663,5	1400
611444,6	4497625,5	1380
611411,3	4497598	1350
611370,8	4497566,5	1330
611330,3	4497534	1300
611294,9	4497509,5	1280
611250	4497479	1250
611205,8	4497450	1230
611170,4	4497421,5	1200
611115,9	4497381,5	1180
611046	4497327	1150
611020,2	4497308	1140
610978,9	4497279	1135
610942,9	4497248,5	1130
610915,2	4497227	1120
610874,4	4497194	1120
610846,3	4497171,5	1120
610808,1	4497141	1130
610798,6	4497132,5	1140
610789,9	4497125,5	1150

Çizelge 5.21. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-1 çıktıları

	M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,155	
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız	Basınç	Z Koordinatı	Z Koordinatı Düzeltilmiş
1	71,1427	42,9517	20,5577	67,8906	2450	24,5
2	63,0971	61,2202	26,1407	106,5694	2430	24,3
3	97,4269	64,3916	28,2723	123,4814	2400	24
4	94,1332	63,9276	28,4918	125,3322	2350	23,5
5	95,462	65,3307	28,7285	127,2085	2300	23
6	98,3222	69,2283	29,2871	131,6101	2250	22,5
7	101,3622	53,1571	26,743	111,8831	2200	22
8	93,3339	55,8126	26,9088	113,1721	2150	21,5
9	85,6292	65,3307	28,4428	124,9438	2100	21
10	86,1879	63,4671	28,4491	125,0181	2050	20,5
11	61,563	60,4919	28,0629	122,0095	2000	20
12	41,8102	59,0662	27,8139	120,0828	1970	19,7
13	56,3086	40,4204	24,5407	95,8119	1950	19,5
14	62,1503	41,8664	23,6388	89,688	1930	19,3
15	101,3397	48,5694	25,1273	100,0866	1900	19
16	86,3154	51,8058	25,857	105,3608	1870	18,7
17	101,3159	65,2125	28,4482	124,9751	1830	18,3
18	101,396	46,7952	25,1976	100,5413	1750	17,5
19	101,3273	45,8957	24,5413	95,9404	1700	17
20	62,9749	34,6098	21,9126	78,3848	1650	16,5
21	76,6838	39,4374	22,3602	81,2727	1630	16,3
22	70,4146	31,2342	20,2026	67,9854	1600	16
23	56,621	50,7884	24,1102	92,8447	1580	15,8
24	46,6314	44,3151	24,0462	92,4692	1550	15,5
25	61,8115	48,5694	24,8636	98,1979	1530	15,3
26	38,3537	43,6249	24,2997	94,2498	1500	15
27	46,0371	55,0359	25,8127	104,9985	1480	14,8
28	38,6142	44,3151	24,8562	98,1262	1450	14,5
29	50,4857	49,6606	25,2514	100,9632	1430	14,3
30	61,4817	27,7726	20,3601	68,8026	1400	14
31	52,5846	47,5136	23,4197	88,1442	1380	13,8
32	55,0681	32,4287	21,158	73,6622	1350	13,5
33	59,9708	42,7311	22,8411	84,3751	1330	13,3
34	47,4701	39,2456	22,5827	82,7076	1300	13
35	62,0182	44,5491	23,6516	89,807	1280	12,8
36	56,5211	34,6098	21,7482	77,3627	1250	12,5
37	54,4556	46,4924	23,6974	90,0923	1230	12,3
38	70,5	26,5785	19,1288	61,7883	1200	12
39	93,5749	28,8456	18,5437	58,6411	1180	11,8
40	33,5655	27,7726	18,2576	57,1116	1150	11,5
41	50,7118	9,7874	11,4728	27,4055	1140	11,4
42	47,4473	9,3147	7,5006	16,2997	1135	11,3
43	36,4629	24,9566	13,0364	33,0823	1130	11,3
44	52,4751	0	0,0000 + 62704i	20,194	1120	11,2
45	35,9981	0	0,0000 + 98579i	-6,5692	1120	11,2
46	49,8948	-18,1619	0,0000 + 178887i	-4,01935	1120	11,2
47	16,2019	-49,6606	0,0000 + 215771i	-6,27386	1130	11,3
48	14,9897	-55,0359	0,0000 + 244912i		1140	11,4
					1150	11,5

Dorinori çığ güzergâhının Arslan (2014) tarafından belirlenmiş koordinatları aynı değerler korunarak Gazi Çığ programı için arazi profilini amaçlı kullanılmıştır. Grafiksel gösterimde pratik olması açısından Z koordinatlarında düzenleme yapılmıştır. Gazi Çığ programında $M/D=1000$ ve sürtünme katsayısı=0,155 girdi verileri (Çalışma 1) kullanılarak arazi bölünme eğimleri, hız ve basınç sonuçları belirlenerek Çizelge 5.21’de listelenmiştir. Dorinori çığ güzergâhının tanımlanması için kullanılan 48 noktanın çözüm sonuçları açısından yeterli olduğu bir önceki İzmir, Bozdağ, Kocadere uygulamasından anlaşılmıştır. Bu nedenle bölünme sayısının arttırılmamıştır.

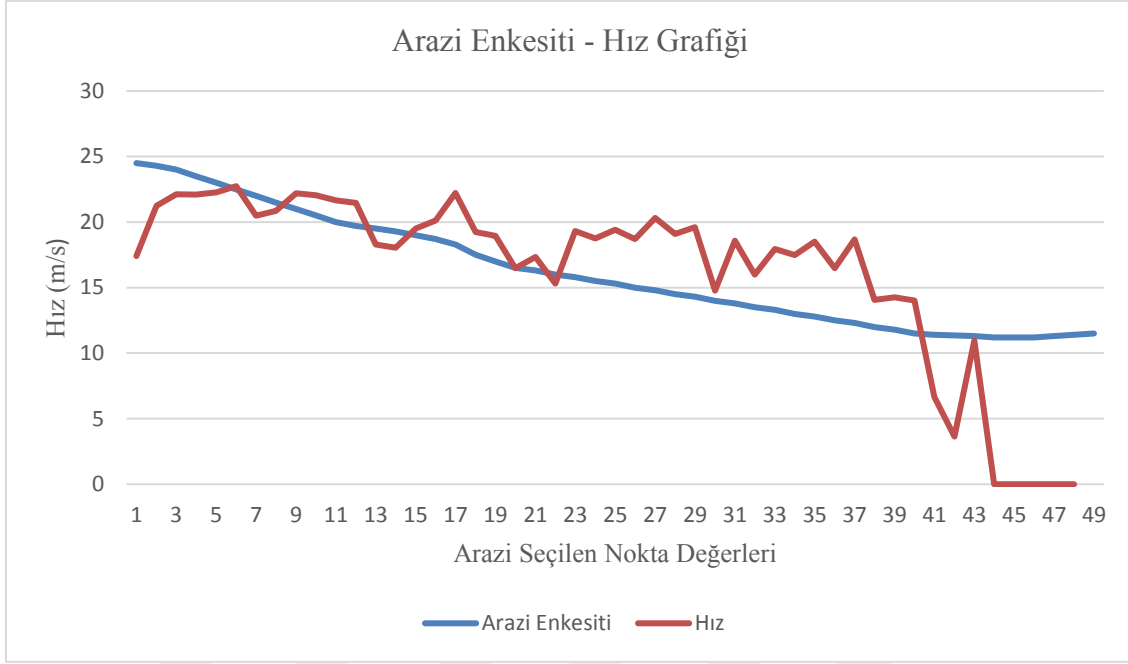
Dorinori çığ güzergahı için elde edilen ilk sonuçlar, hareket hızının en yüksek değerine 28,45 m/s ile onuncu noktada ulaştığını, yine aynı noktada en büyük basınç değerinin 125,02 kPa hesaplandığını göstermektedir. Güzergahın başlangıç noktasından itibaren kırk dördüncü noktada hız değeri sıfır olduğundan çığ kütlesi durmaktadır. İlk sonuçlardan elde edilen hız değişim değerlerinin profil boyunca değişimi Şekil 5.14’te çizilmiştir.



Şekil 5.14. M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

Çizelge 5.22. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-2 çıktıları

	M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,155	
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız	Basınç	Z Koordinatı	Z Koordinatı Düzeltilmiş
1	71,1427	42,9517	17,4043	45,4366	2450	24,5
2	63,0971	61,2202	21,2406	67,6743	2430	24,3
3	97,4269	64,3916	22,127	73,6404	2400	24
4	94,1332	63,9276	22,1012	73,6697	2350	23,5
5	95,462	65,3307	22,2772	74,6409	2300	23
6	98,3222	69,2283	22,7375	77,649	2250	22,5
7	101,3622	53,1571	20,4836	62,5368	2200	22
8	93,3339	55,8126	20,85	65,5082	2150	21,5
9	85,6292	65,3307	22,2046	73,6569	2100	21
10	86,1879	63,4671	22,0471	72,6115	2050	20,5
11	61,563	60,4919	21,6691	70,6328	2000	20
12	41,8102	59,0662	21,464	69,5054	1970	19,7
13	56,3086	40,4204	18,2966	50,4146	1950	19,5
14	62,1503	41,8664	18,0546	48,4955	1930	19,3
15	101,3397	48,5694	19,5054	57,4693	1900	19
16	86,3154	51,8058	20,1133	60,5816	1870	18,7
17	101,3159	65,2125	22,2183	74,6476	1830	18,3
18	101,396	46,7952	19,241	55,4322	1750	17,5
19	101,3273	45,8957	18,9539	53,4875	1700	17
20	62,9749	34,6098	16,4725	40,3013	1650	16,5
21	76,6838	39,4374	17,3431	45,3173	1630	16,3
22	70,4146	31,2342	15,3004	35,3153	1600	16
23	56,621	50,7884	19,3217	55,5993	1580	15,8
24	46,6314	44,3151	18,75	52,4344	1550	15,5
25	61,8115	48,5694	19,4171	56,4535	1530	15,3
26	38,3537	43,6249	18,714	52,4319	1500	15
27	46,0371	55,0359	20,3152	61,5063	1480	14,8
28	38,6142	44,3151	19,0846	54,4331	1450	14,5
29	50,4857	49,6606	19,6141	57,4069	1430	14,3
30	61,4817	27,7726	14,7664	32,2072	1400	14
31	52,5846	47,5136	18,5882	51,4282	1380	13,8
32	55,0681	32,4287	15,9859	38,3325	1350	13,5
33	59,9708	42,7311	17,9392	48,4721	1330	13,3
34	47,4701	39,2456	17,4845	45,3562	1300	13
35	62,0182	44,5491	18,5039	51,4589	1280	12,8
36	56,5211	34,6098	16,4842	40,3591	1250	12,5
37	54,4556	46,4924	18,6786	52,4338	1230	12,3
38	70,5	26,5785	14,0563	29,2371	1200	12
39	93,5749	28,8456	14,2701	30,2452	1180	11,8
40	33,5655	27,7726	14,0266	29,2119	1150	11,5
41	50,7118	9,7874	6,6728	66,979	1140	11,4
42	47,4473	9,3147	3,6441	19,9919	1135	11,3
43	36,4629	24,9566	10,9708	18,2539	1130	11,3
44	52,4751	0	0.,0000 + 73779i	-8,065	1120	11,2
45	35,9981	0	0.,0000 + 89526i	-1,0223	1120	11,2
46	49,8948	-18,1619	0.,0000 + 152995i	-3,-110	1120	11,2
47	16,2019	-49,6606	0.,0000 + 186601i	-5,-297	1130	11,3
48	14,9897	-55,0359	0.,0000 + 210573i		1140	11,4
					1150	11,5



Şekil 5.15. M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,155 için Grafik

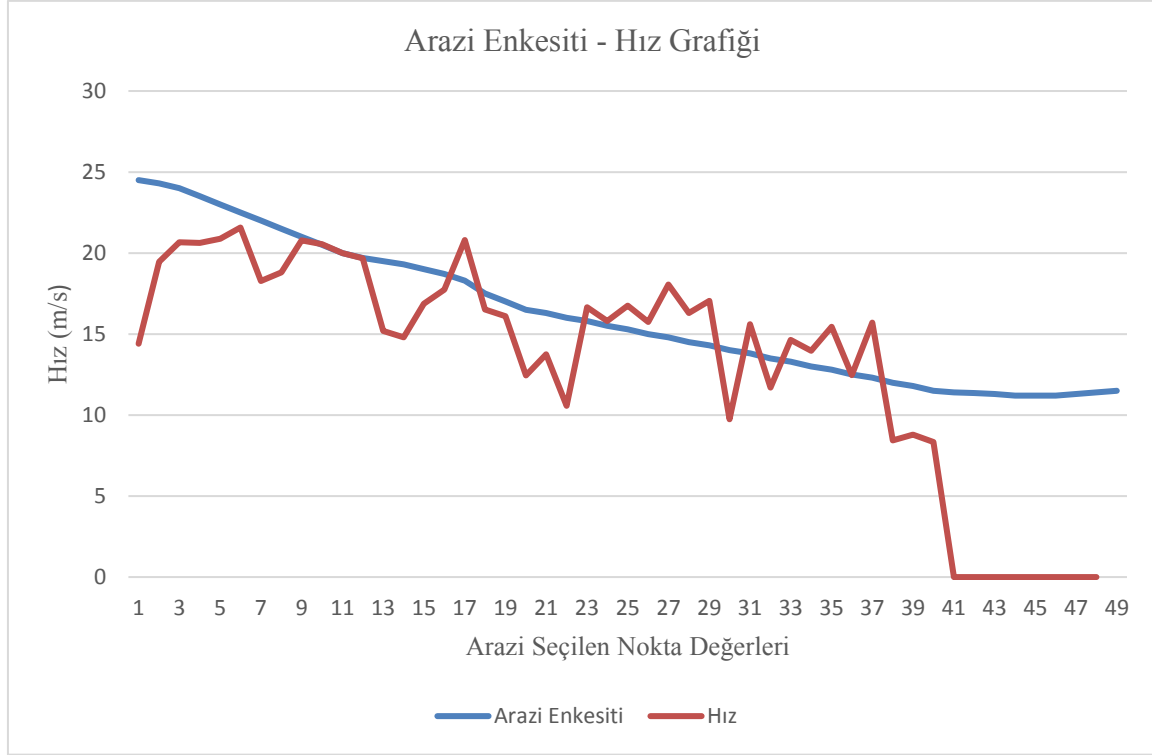
M/D değerinin 1000'den 600'e düşürülmesi sonucunda Gazi Çığ programından elde edilen ikinci grup çalışma sonuçları Çizelge 5.22'de sunulmaktadır. Böylece M/D değerinin sonuçlara etkisi görülebilecektir. Bu koşullarda çalıştırılan Gazi Çığ programından elde edilen en yüksek hız değeri altıncı noktada 22,74 m/s olarak hesaplanmıştır. Basıncın en yüksek değeri ise 77,65 kPa'dır. Bu durumda çığ kütlesi kırk dördüncü noktada durmuştur.

Dorinori çığ güzergâhında gerçekleştirilen Çalışma-2 sonuçlarına ait hız değişimi Şekil 5.15'te görülebilir.

Dorinori için hazırlanan üçüncü çalışma programında sürtünme katsayısı 0,4 değerine yükseltilerek diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bu veriler kullanılarak elde edilen program sonuçları Çizelge 5.23'te gösterilmiştir. Çizelge verilerinden hızın en yüksek altıncı noktada 21,57 m/s'ye, basıncın yine en yüksek altıncı noktada 69,81 kPa değerine ulaştığı görülmektedir. Oluşan çığ, bu çalışma verilerine göre kırk birinci noktada durmaktadır. Çalışma-3 sonuçlarına ait boy kesit-hız değişimi Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.23. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-3 çıktıları

	M/D Değeri	600		Sürtünme Katsayısı	0,4	
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız	Basınç	Z Koordinatı	Z Koordinatı Düzeltilmiş
1	71,1427	42,9517	14,3938	64,0199	2450	24,5
2	63,0971	61,2202	19,4542	63,756	2430	24,3
3	97,4269	64,3916	20,6591	65,3815	2400	24
4	94,1332	63,9276	20,6165	69,8134	2350	23,5
5	95,462	65,3307	20,8777	50,1369	2300	23
6	98,3222	69,2283	21,5737	53,0165	2250	22,5
7	101,3622	53,1571	18,2824	64,7356	2200	22
8	93,3339	55,8126	18,8001	63,2634	2150	21,5
9	85,6292	65,3307	20,7743	59,8989	2100	21
10	86,1879	63,4671	20,5367	58,124	2050	20,5
11	61,563	60,4919	19,9832	34,5822	2000	20
12	41,8102	59,0662	19,6848	32,8421	1970	19,7
13	56,3086	40,4204	15,1838	42,74	1950	19,5
14	62,1503	41,8664	14,7969	47,2455	1930	19,3
15	101,3397	48,5694	16,88	64,8587	1900	19
16	86,3154	51,8058	17,7474	40,8862	1870	18,7
17	101,3159	65,2125	20,794	38,837	1830	18,3
18	101,396	46,7952	16,5098	23,2322	1750	17,5
19	101,3273	45,8957	16,0908	28,3476	1700	17
20	62,9749	34,6098	12,4451	16,7818	1650	16,5
21	76,6838	39,4374	13,7472	41,6124	1630	16,3
22	70,4146	31,2342	10,5773	37,4829	1600	16
23	56,621	50,7884	16,6558	42,1144	1580	15,8
24	46,6314	44,3151	15,8078	37,2091	1550	15,5
25	61,8115	48,5694	16,756	48,8727	1530	15,3
26	38,3537	43,6249	15,7499	39,8262	1500	15
27	46,0371	55,0359	18,0504	43,5494	1480	14,8
28	38,6142	44,3151	16,2944	14,2075	1450	14,5
29	50,4857	49,6606	17,0391	36,5387	1430	14,3
30	61,4817	27,7726	9,7322	20,5453	1400	14
31	52,5846	47,5136	15,6074	32,1212	1380	13,8
32	55,0681	32,4287	11,7034	29,2239	1350	13,5
33	59,9708	42,7311	14,6336	35,7843	1330	13,3
34	47,4701	39,2456	13,958	23,2914	1300	13
35	62,0182	44,5491	15,4455	37,0171	1280	12,8
36	56,5211	34,6098	1,2461	10,6741	1250	12,5
37	54,4556	46,4924	15,7093	11,5948	1230	12,3
38	70,5	26,5785	8,4357	10,4327	1200	12
39	93,5749	28,8456	8,92	-1,42248	1180	11,8
40	33,5655	27,7726	8,3398	-1,92633	1150	11,5
41	50,7118	9,7874	0,0000 + 97382i	-2,0464	1140	11,4
42	47,4473	9,3147	0,0000 + 113323i	-2,95298	1135	11,3
43	36,4629	24,9566	0,0000 + 36936i	-3,35731	1130	11,3
44	52,4751	0	0,0000 + 140309i	-5,58543	1120	11,2
45	35,9981	0	0,0000 + 149606i	-7,0163	1120	11,2
46	49,8948	-18,1619	0,0000 + 192967i	-113,05892	1120	11,2
47	16,2019	-49,6606	0,0000 + 216276i	-153,21672	1130	11,3
48	14,9897	-55,0359	0,0000 + 230659i		1140	11,4
					1150	11,5



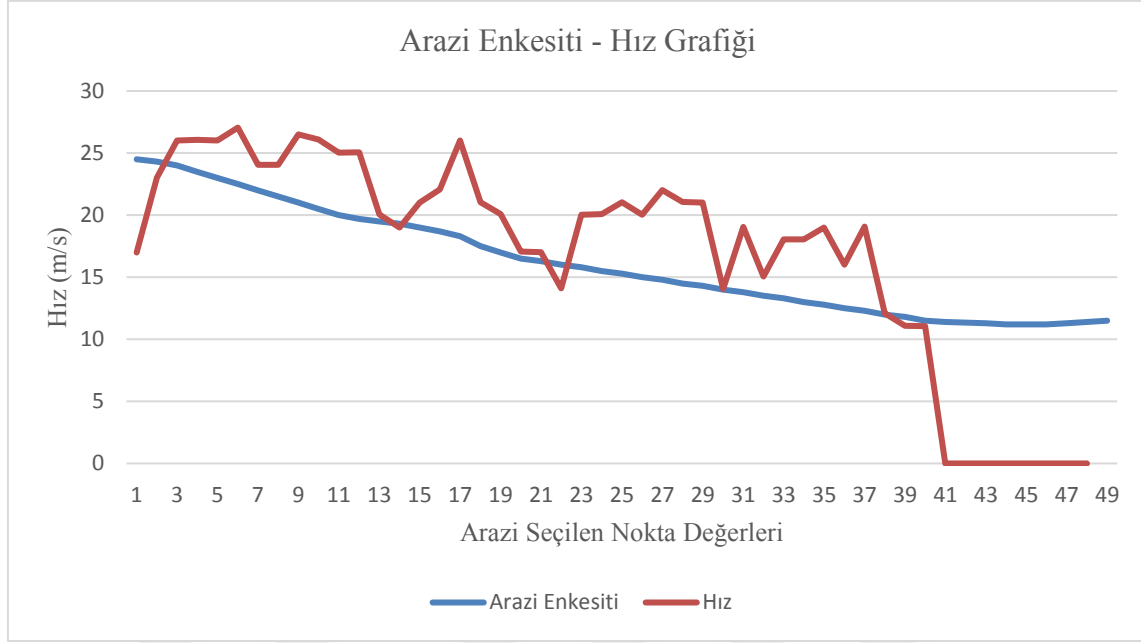
Şekil 5.16. M/D değeri 600 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

Dorinori çığ güzergahı için planlanan son çalışma (Çalışma-4) verilerinde M/D değeri 1000, sürtünme katsayısı 0,4 kullanılmıştır. Gazi Çığ programından elde edilen eğim, hız ve basınç sonuç değerleri Çizelge 5.24'te verilmektedir. Hızın maksimum değeri başlangıçtan itibaren altıncı noktada 27,75 m/s, basıncın en yüksek değeri yine altıncı noktada 115,52 kPa olarak hesaplanmıştır. Çığ durma noktası bu çalışma için kırk birinci noktadır.

Bu çalışmaya ait güzergâh boyunca hız değişimi Şekil 5.17'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.24. Uzungöl –Dorinori çığ hattına ait Çalışma-4 çıktıları

	M/D Değeri	1000		Sürtünme Katsayısı	0,4	
Nokta	Uzunluk	Eğim	Hız	Basınç	Z Koordinatı	Z Koordinatı Düzeltilmiş
1	71,1427	42,9517	17,0017	43,3587	2450	24,5
2	63,0971	61,2202	23,7168	84,3729	2430	24,3
3	97,4269	64,3916	26,3233	103,9377	2400	24
4	94,1332	63,9276	26,5694	105,8896	2350	23,5
5	95,462	65,3307	26,9088	108,6127	2300	23
6	98,3222	69,2283	27,7514	115,5211	2250	22,5
7	101,3622	53,1571	24,0507	86,7655	2200	22
8	93,3339	55,8126	24,2629	88,3034	2150	21,5
9	85,6292	65,3307	26,5	105,3372	2100	21
10	86,1879	63,4671	26,4953	105,3	2050	20,5
11	61,563	60,4919	25,9285	100,8427	2000	20
12	41,8102	59,0662	25,5656	98,0402	1970	19,7
13	56,3086	40,4204	20,9678	65,9473	1950	19,5
14	62,1503	41,8664	19,6085	57,6739	1930	19,3
15	101,3397	48,5694	21,7169	70,7438	1900	19
16	86,3154	51,8058	22,7578	77,6874	1870	18,7
17	101,3159	65,2125	26,5136	105,4455	1830	18,3
18	101,396	46,7952	21,8502	71,6144	1750	17,5
19	101,3273	45,8957	20,8808	65,4013	1700	17
20	62,9749	34,6098	17,0666	43,6905	1650	16,5
21	76,6838	39,4374	17,709	47,0415	1630	16,3
22	70,4146	31,2342	14,3977	31,0939	1600	16
23	56,621	50,7884	20,3357	62,0314	1580	15,8
24	46,6314	44,3151	20,1957	61,1799	1550	15,5
25	61,8115	48,5694	21,3499	68,3728	1530	15,3
26	38,3537	43,6249	20,539	63,2775	1500	15
27	46,0371	55,0359	22,7201	77,4304	1480	14,8
28	38,6142	44,3151	21,3525	68,3896	1450	14,5
29	50,4857	49,6606	21,9021	71,9552	1430	14,3
30	61,4817	27,7726	14,76	32,6785	1400	14
31	52,5846	47,5136	19,3417	56,1154	1380	13,8
32	55,0681	32,4287	15,9449	38,136	1350	13,5
33	59,9708	42,7311	18,4403	51,0064	1330	13,3
34	47,4701	39,2456	18,0427	48,8309	1300	13
35	62,0182	44,5491	19,6026	57,6393	1280	12,8
36	56,5211	34,6098	16,8066	42,3695	1250	12,5
37	54,4556	46,4924	19,6881	58,1434	1230	12,3
38	70,5	26,5785	12,6869	24,1435	1200	12
39	93,5749	28,8456	11,5834	20,1263	1180	11,8
40	33,5655	27,7726	11,0538	18,3279	1150	11,5
41	50,7118	9,7874	0,0000 + 97932i	-1,4386	1140	11,4
42	47,4473	9,3147	0,0000 + 133111i	-2,65777	1135	11,3
43	36,4629	24,9566	0,0000 + 74474i	-8,3195	1130	11,3
44	52,4751	0	0,0000 + 165661i	-4,11652	1120	11,2
45	35,9981	0	0,0000 + 183024i	-5,02467	1120	11,2
46	49,8948	-18,1619	0,0000 + 234917i	-8,2779	1120	11,2
47	16,2019	-49,6606	0,0000 + 260065i	-10,14506	1130	11,3
48	14,9897	-55,0359	0,0000 + 278145i		1140	11,4
					1150	11,5



Şekil 5.17. M/D değeri 1000 Sürtünme Katsayısı 0,4 için Grafik

Uzungöl, Dorinori çığ güzergahı için planlanan dört farklı çalışma verileri ve Gazi Çığ programından elde edilen maksimum hız ve basınç sonuçları Çizelge 5.25'te özetlenmiştir.

Çizelge 5.25. Dorinori uygulama alanı için Gazi Çığ Program Çıktıları

	Girdi verileri		Çıktılar	
	M/D Değeri	Sürtünme Katsayısı	Maksimum Hız (m/s)	Maksimum Basınç (kPa)
Çalışma-1	1000	0,155	28,45	125,02
Çalışma-2	600	0,155	22,74	77,65
Çalışma-3	600	0,4	21,57	69,81
Çalışma-4	1000	0,4	27,75	115,52

Arslan (2014) tez çalışması kapsamında Dorinori çığ güzergahı için AVAL-1D çığ modelini uygularken altı farklı senaryo durumu için denemeler yapmıştır. Denemelerde kar yoğunluğu 300 kg/m^3 , sürtünme katsayısını $=0,16-0,25$ arası, çığ tekerrür süresini 300 yıl, türbülanslı sürtünme katsayısı $=1500-2500$ arası değerler kullanmıştır. Arslan (2014) ayrıca kullanılan farklı kopma (kırılma) derinlikleri ve arazi koşullarına göre kanal genişliklerinin AVAL-1D sonuçlarındaki etkilerini incelemiştir. AVAL-1D programı 1-boyutlu bir program olduğundan çığın aktığı güzergâh üzerinde bulunduğu kabul edilen kanal genişliklerinin programa tanıtılması gerekmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında Dorinori için programa dört farklı tip kanal tipi tanımlanmıştır. Çalışma sonuçlarından

Deneme-2'ye ait bir örnek Çizelge 5.26'da verilmektedir. Çizelgede ilk iki sütun güzergâhın bulunduğu sahada yer alan belirgin izleme noktalarını, üçüncü sütun noktanın denizden yüksekliğini, diğer sütunlar ise AVAL-1D program çıktılarını göstermektedir. Arslan (2014)'ın Dorinori çıkış güzergahı için gerçekleştirdiği tüm analiz sonuçlarını özetleyen bilgiler Çizelge 5.27'de verilmektedir.

Çizelge 5.26. AVAL-1D Programı Çıktısı (Arslan, 2014)

Nokta No	Gözlem Noktası adı	Yükseklik (m.)	Basınç (kPa)	Hız (m/sn)	Kar yüksekliği (m.)
21	Giriş	1630	118,0	19,8	1,1
31	Kanal orta	1380	68,8	15,1	0,9
40	Kanal son	1150	38,3	11,3	3,1
41	Ev	1140	38,2	11,3	4,5
42	Son1	1135	10,1	5,8	2,2
43	Son2	1130	3,5	3,4	0,4
44	Son3	1120	4,1	3,7	1,6
45	Dere (Durma)	1120	0	0	0

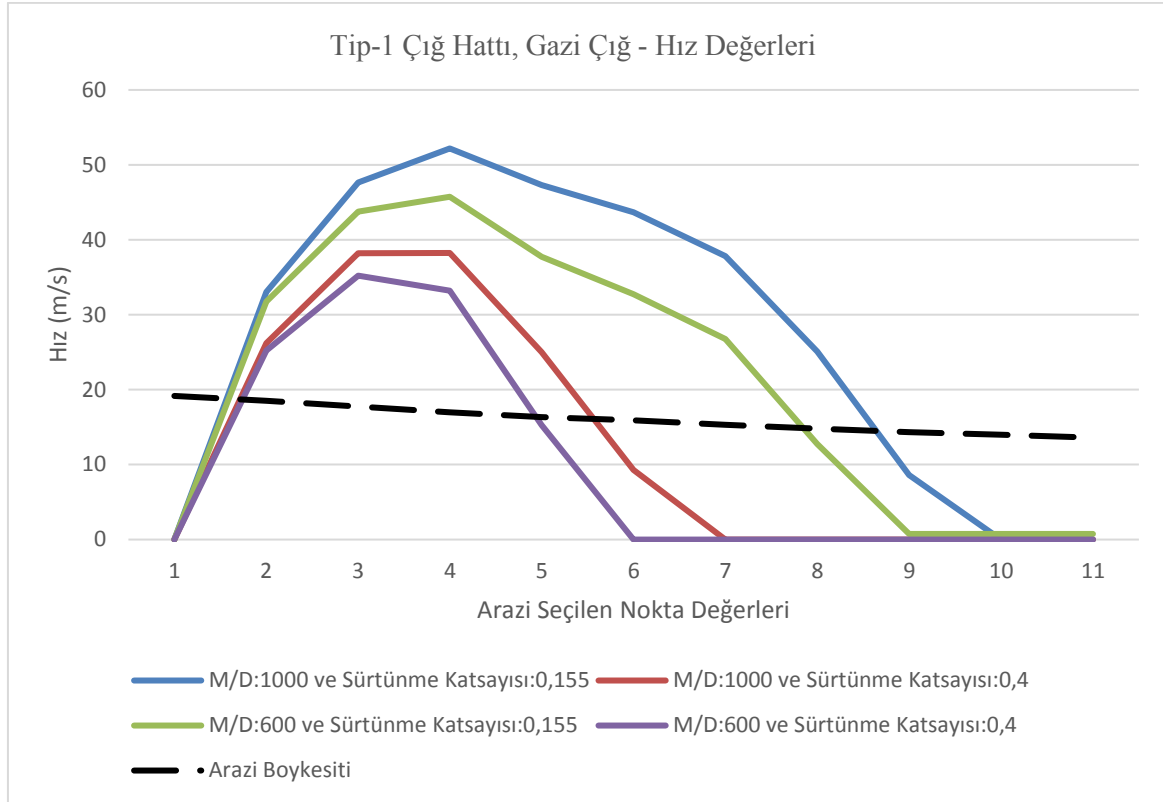
Dorinori güzergahı için uygulanan Gazi Çığ model sonuçlarına göre (Çizelge 5.25) hesaplanan en yüksek hızların ortalaması 25,13 m/s, en büyük basınçların ortalaması ise 97,00 kPa olarak belirlenmiştir. Aynı çıkış hattı için AVAL-1D ile yapılan analiz sonuçlarına göre (Çizelge 5.27) en yüksek hızlar ortalaması 18,42 m/s, basınçlar ortalaması 102,45 kPa'dır. Bu durumda iki farklı model ile yapılan çalışmalar sonucunda hızlar açısından %26,7 basınçlar açısından %5,6'lık farklılıklar olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.27. Dorinori çığ güzergahı için AVAL-1D sonuçları (Arslan,2014)

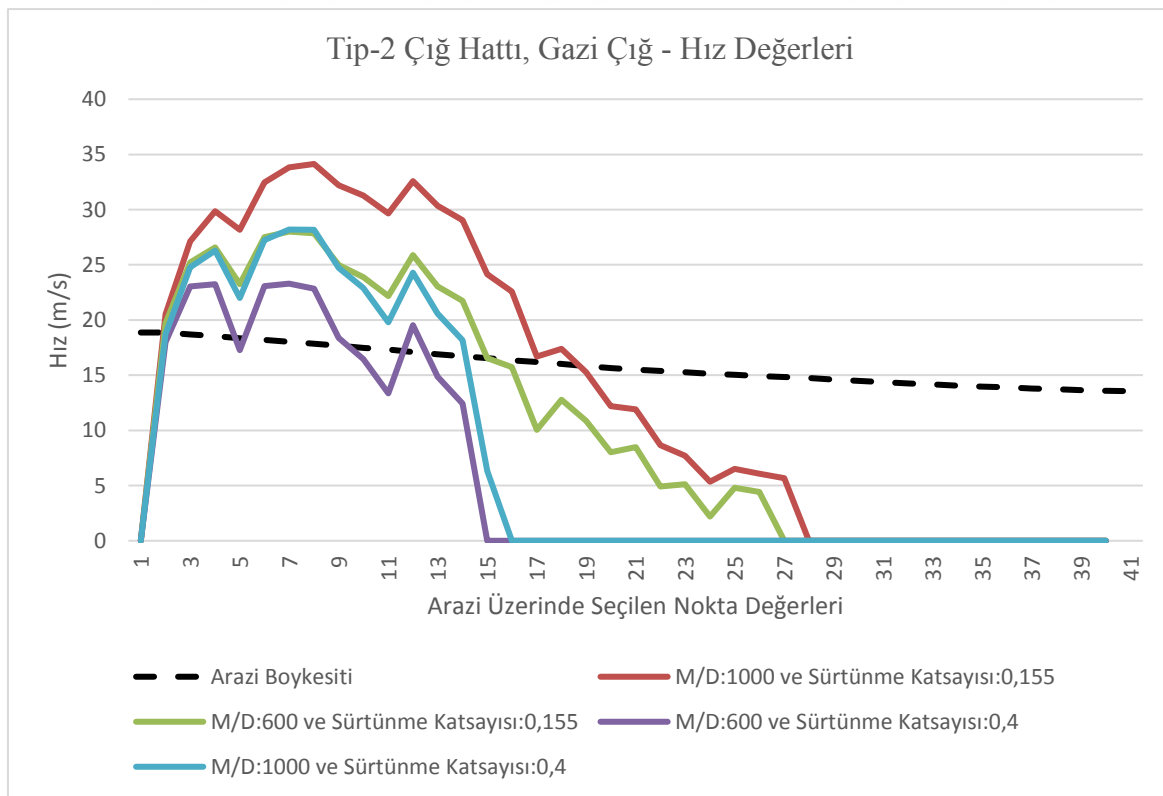
Çalışma Numarası	Kopma derinliği-m	Çığ başlangıç kotları-(m)	Kanal Tipi	AVAL-1D Maksimum Hız V_{max} (m/s)	AVAL-1D Maksimum Basınç P_{max} (kPa)
Deneme-1	0,5	2150-2100	Tip-1	17,2	88,5
Deneme-2	0,6	2150-2100	Tip-1	19,8	118,0
Deneme-3	0,5	2150-2100	Tip-2	15,7	73,6
Deneme-4	0,3	2150-2050	Tip-3	20,4	124,5
Deneme-5	0,5	2000-2050	Tip-4	18,9	107,0
Deneme-6	0,3	2150-2050	Tip-4	18,5	103,1

Gazi Çığ programının bir başka değerlendirme perspektifi, kütle akış hızının çığın izlediği güzergâh boyunca değişimi incelenerek bir değerlendirme gerçekleştirilebilir. Böylece model sonuçlarının tekil anlamda maksimum hızları doğru tahmin etmesinin yanı sıra güzergâh boyunca göstermiş olduğu davranış da değerlendirilebilir. Bu amaçla Gazi Çığ programı için uygulanan Tip-1 (Çizelge 5.1), Tip-2 (Çizelge 5.6) ve Tip-3 (Çizelge 5.11) durumları için elde edilen hız sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilerek davranış modelleri hakkında fikir elde edilebilmektedir. Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için yapılan çalışma sonuçları sırasıyla Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmektedir.

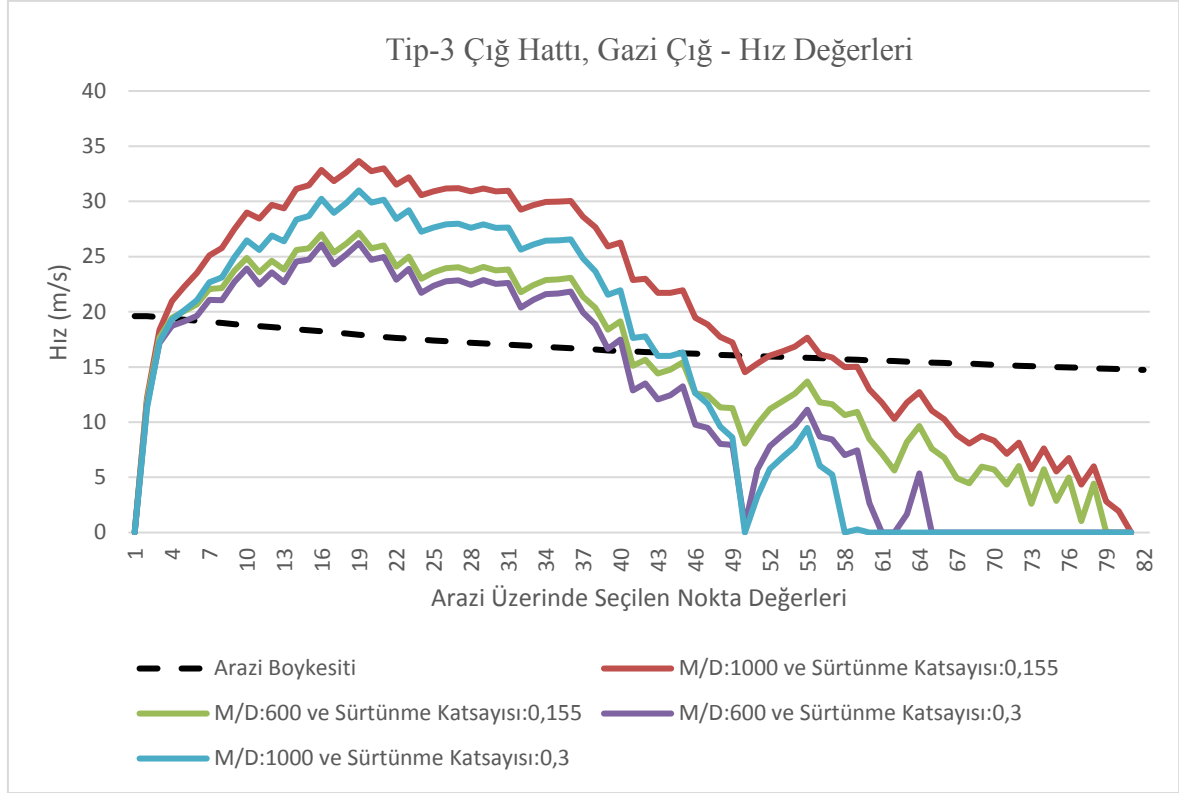
Her üç grafikte de sürtünme katsayısı değerinin artması ile hız değerlerinin azaldığı ve çığ durma mesafesinin kısaldığı görülmektedir. Çözüm için kullanılan bölünme sayısının artırılması ile güzergâh boyunca hız değişiminin fiziksel olarak daha rahat takip edilebildiği ve sürekliliğin sağlandığı anlaşılmaktadır. Yine her üç sonuç grafiğinin boy kesit boyunca değişimi incelendiğinde hattın ilk bölümlerinde hızın yükselen bir eğilimde daha sonra durma noktasına kadar bölgesel yükselmeler olsa dahi genel olarak hızların azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Benzer eğilim Demir (2018) tarafından aynı çığ hattı için uygulanan RAMMS program sonuçlarında da görülmektedir. Şekil 5.21 Kocadere için uygulanmış RAMMS program sonuçlarından hızın çığ güzergahı boyunca değişimini vermektedir. Buradaki hız değişimindeki davranış modeli Gazi Çığ programı ile oldukça benzer özelliktedir.



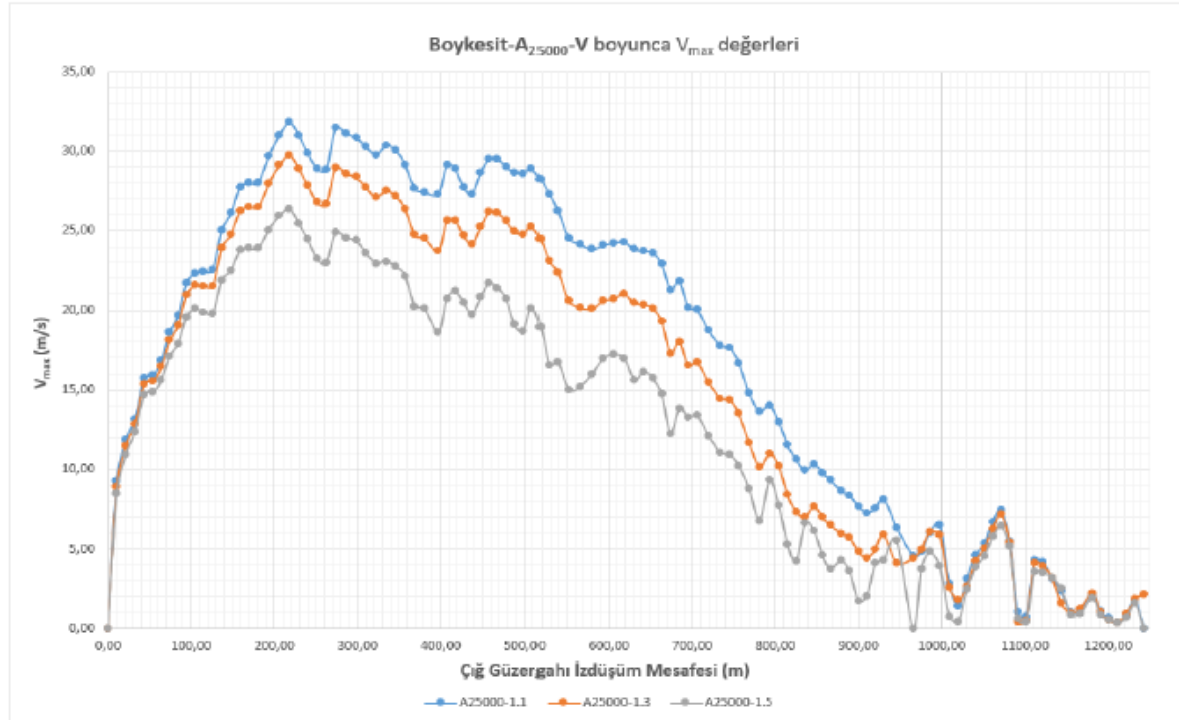
Şekil 5.18. Tip-1 Kocadere Çığ Hattı İçin Gazi Çığ model sonuçları



Şekil 5.19. Tip-2 Kocadere Çığ Hattı İçin Gazi Çığ model sonuçları



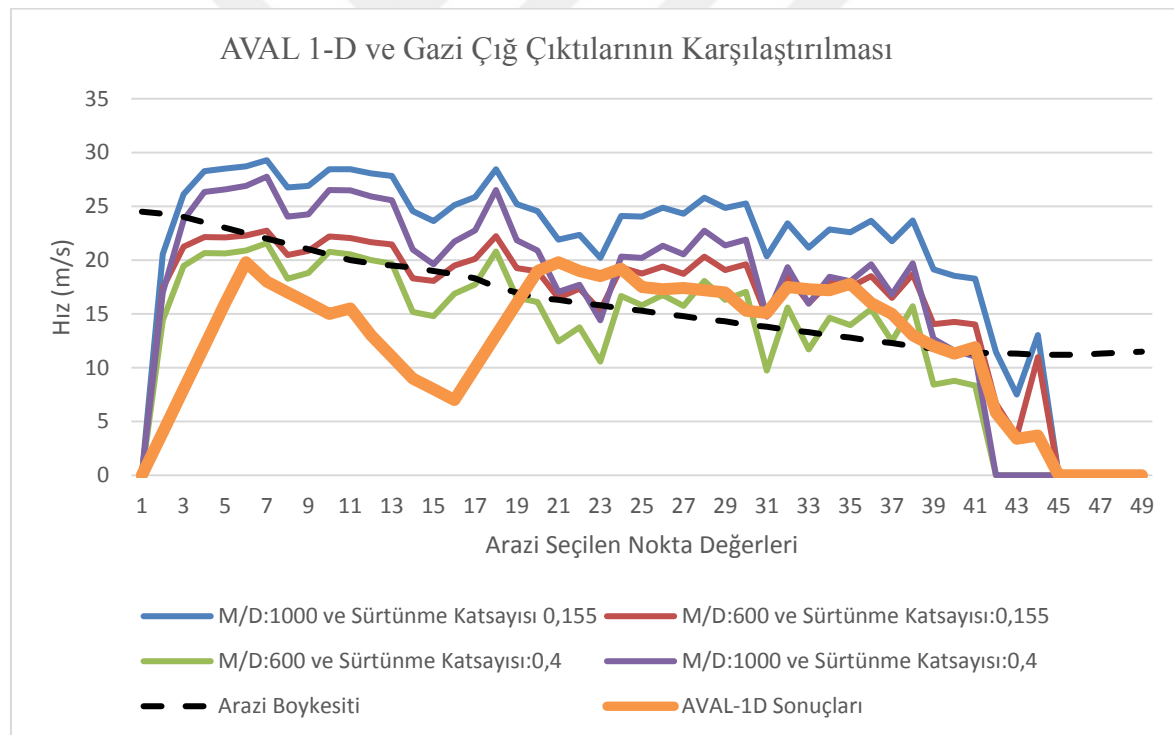
Şekil 5.20. Tip-3 Kocadere Çığ Hattı İçin Gazi Çığ model sonuçları



Şekil 5.21. Kocadere çığ hattı için RAMMS program sonucu (Demir,2018)

Hızın arazi boy profili boyunca değişimi bir diğer farklı model AVAL-1D sonuçları ile Uzungöl, Dorinori hattı için karşılaştırılmıştır. Hem Gazi Çığ program sonuçları hem de AVAL-1D program sonuçları aynı boy kesit üzerinde Şekil 5.22’de gösterilmiştir. Şekil 5.22’de kesik çizgiler ile arazinin boy kesit profili kalın çizgi ile AVAL-1D programından elde edilen hız değişimi sonuçları gösterilmiştir. Gazi Çığ programı için uygulanan tüm analiz sonuçları dört farklı renkte lejantında belirtilen durumlar için çizdirilmiştir.

Şekil 5.22’den AVAL-1D ile Gazi Çığ programının hız değişim modellerinin tutarlı olduğu görülmektedir. Gazi Çığ programının da arazi üzerinde seçilen noktalarda hız değerleri arttığında AVAL-1D hız değerlerinin de arttığı, Gazi Çığ programında arazi üzerinde seçilen noktalarda hız değerleri azaldığında AVAL-1D hız değerlerinin de azaldığı dolayısıyla davranışsal olarak benzer sonuçlar ürettiği söylenebilir.



Şekil 5.22. AVAL 1-D ve Gazi Çığ Çıktılarının Karşılaştırılması



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel iklim değişimi hem ülkemizi hem de Dünyanın birçok bölgesini olumsuz olarak etkileyecek sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Bu durum meteorolojik karakterli afet türlerinden çığların hem oluşum sıklığını hem de şiddetini doğrudan etkileyecektir. Yeni yerleşim alanlarının planlanmasında, eski yerleşimlerin yeniden değerlendirilmesinde, ulaşım ve iletim hatlarının planlanmasında ve projelendirilmesinde, kış turizmi için açılacak bölgelerin plan ve projelendirilmesinde çığ etkisi mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ülkemizde çığ hareketlerini modelleme ihtiyacı her geçen yıl daha da önem kazanmaktadır. Bu amaçla bu tez kapsamında çığ güzergahı boyunca çığ hareketine ait hız, basınç ve durma mesafesi bilgilerini sağlayan “Gazi Çığ” isimli kullanıcı dostu bir program geliştirilmiştir.

Gazi Çığ yazılımı Perla, Cheng ve Lang (1980) (Kütle-Merkezi) Modeli ile çalışmaktadır. Bu modelin seçilme nedenleri; diğer modellere göre uygulanabilirliği kolay ve sonuçlarının gerçeğe yakın olmasıdır. Modelin basitliği, çığ riskinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi ve korunma önlemlerinin planlanması için kullanılmasını kolaylaştırmaktadır.

Gazi Çığ yazılımı, matematik altyapısı güçlü, programın ara yüzünün hazırlanması kolay ve yazılan kodların her bilgisayarda çalışmasına imkân sağlayacak şekilde “exe” uzantılı bir dosya olarak hazırlanabilmesi nedenleriyle MATLAB GUI ortamında hazırlanmıştır.

Gazi Çığ yazılımına iki farklı veri girişi yapılabilmektedir. Veri girişi için ilk yöntem daha önceden hazırlanmış çığ güzergâhına ait koordinat verilerinin Excel dosyasından çekilmesidir. Veri girişi için ikinci yöntem ise SYM verilerinin programa aktarılmasıdır. Programa yüklenen SYM verileri sayesinde elde edilen üç boyutlu arazi görüntüsü üzerinden kullanıcı istenilen çığ güzergâhını oluşturabilmektedir. Programın çalıştırılması için gerekli diğer veriler ise; türbülanslı sürtünme faktörü (M/D) ve Coulomb tipi sürtünme faktörüdür. Kullanıcının bu katsayıları kolay ulaşabilmesi açısından katsayılar için öneriler bölümü oluşturulmuş kullanıcının çalıştığı arazi şartlarına göre uygun bir katsayı seçmesi için seçenekler sunulmuştur.

Veri girişi tamamlandıktan sonra Gazi Çığ programı çalıştırıldığında belirtilen sonuçlar elde edilebilmektedir; oluşturulan çığ hattına ait akış yönündeki arazi boy kesiti ve hesaplanan

seçilen her bir nokta arası uzunluklar, arazi eğimleri, hız değerleri, basınç değerleri, durma mesafesi ve seçilen çığ güzergâhının toplam uzunluğu görülebilmektedir.

Çığ güzergâhı üzerinde koruma yapıları tasarımı düşünülüyorsa genel bir fikir oluşması açısından program içerisinde “Koruma Yapısı Tasarımı” bölümü de oluşturulmuştur. Aynı zamanda kullanıcı için gerekli olabilecek kar yükseklik değeri istenilen nokta için program tarafından hesaplanabilmektedir.

Gazi Çığ programının doğrulanması amacıyla seçilen arazilerde oluşmuş çığlar için elde edilen sonuçlar farklı modellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu modeller RAMMS ve AVAL-1D programlarıdır.

Veri setinde yer alan parametrelerdeki değişimin sonuçlara etkisini görmek amacıyla Gazi Çığ program sonuçları ile RAMMS ve AVAL-1D program sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu analiz sonuçlarından, seçilen güzergâha ait çözüm nokta sayısı arttıkça Gazi Çığ programından elde edilen sonuçların RAMMS model sonuçlarına yaklaştığı görülmektedir. Burada belirtilmesi gereken bir diğer önemli konu, RAMMS programında yüzey eğriliği ve bakı gibi CBS değerleri dikkate alınıp en iyi çığ güzergâhı program tarafından oluşturulurken Gazi Çığ yazılımında çığ güzergâhı belirleme işlemi kullanıcı tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle çığ konusunda deneyimli mühendisler tarafından kullanılması önerilmektedir.

AVAL-1D programı 1-Boyutlu profil üzerinde işlem yaparken başlama bölgesi, akma bölgesi ve durma bölgesi için ayrı ayrı sürtünme katsayıları uygulanmasına imkân sağlamaktadır. Gazi Çığ programında çığ hattı üzerinde tüm hat boyunca sadece tek bir sürtünme katsayısı değeri uygulanabilmektedir. Bu durum nedeniyle iki model sonuçları arasında hız değerleri açısından bazı farklılıklar oluşmuştur. Bu nedenle ileri çalışmalarda seçilen çözüm noktaları için farklı sürtünme katsayılarının kullanılmasına imkân sağlayacak hesaplama modeli geliştirilmesi önerilmektedir.

Gazi Çığ programından elde edilen hız değerleri ile AVAL-1D programının ürettiği hız değerleri karşılaştırılmış ve davranışsal olarak oldukça benzer sonuçlar olduğu gözlenmiştir. Her iki modelde de hız değerlerinin arttığı bölgelerde artış eğilimi, hız değerlerinin azaldığı bölgelerde azalış eğiliminin olduğu görülmektedir. Bu durum RAMMS

program sonuçları ile benzer şekildedir. Gazi Çığ programının her iki program sonuçları ile karşılaştırıldığında tutarlı ve yeterli doğrulukta sonuçlar ürettiği söylenebilir.

Gazi Çığ yazılımı her ne kadar CBS programları ile uyumlu çalışsa dahi güzergâh üzerinde yapılacak düzenleme, değiştirme, ekleme veya çıkarma işlemlerinin bir CBS programı üzerinden tamamlanması sonrasında SYM verilerinin Gazi Çığ programına aktarılması önerilmektedir. Bu durum program sonuçlarındaki belirsizlikleri en düşük düzeye indirecektir.

Çığ araştırmalarında fiziksel, dinamik, istatistiksel ve topografik olarak birçok model geliştirilmiştir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler çığ araştırmalarında yapılacak model sonuçlarının hızlı, güvenilir ve uygulanabilir olmasını gerektirmektedir. Bu nedenlerle üretilen modellerin birçoğunda bilgisayar yazılımları sayesinde hesaplamalarda büyük kolaylıklar sağlanmıştır. Ancak ülkemizde kar ve çığ çalışmaları ile ilgilenen araştırmacılar ve bu konuda çalışan uygulayıcılar hem programlarda kullanılan dil kaynaklı hem de kullanım ücretleri açısından geliştirilen yazılımlardan sınırlı şekilde yararlanabilmektedirler. Kullanım dili Türkçe olarak hazırlanan ilk model olma özelliği ile ülkemizde çığ konusunda çalışmaların artmasına katkı sağlayacağı düşünülen Gazi Çığ programının ilk versiyonu bu çalışma sonucudur.

Gazi Çığ programı açık kaynaklı ve geliştirilebilir olması nedeniyle yeni yazılım seçenekleri eklenerek programa kullanıcı yönünden büyük kolaylıklar sağlanabilir. Gazi Çığ programı, ülkemiz çığ envanterindeki verilerin kullanımı ile kapasitesini ve uygulama sahasını genişletebilir.



KAYNAKLAR

- Ancey, C. (2001). Snow avalanches. In: Balmforth, N.J., Provenzale, A. (eds) *Geomorphological Fluid Mechanics: Lecture Notes in Physics*. (582), 319–338, Springer, Berlin, Heidelberg, https://10.1007/3-540-45670-8_13.
- Arslan, G. (2014). *Çığ sayısal modeli uygulaması: Uzungöl - Dorinori Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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. ve Gürer, İ. (2014). Avalanche situation in Turkey and back calculation of selected events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1145-1154.
- Bartelt P., Salm B., ve Gruber U. (1999). Calculating dense-snow avalanche runout using a Voellmy fluid model with active/passive longitudinal straining, *Journal of Glaciology*, 45(150), 242-254.
- Bütün, L. (2018). *RAMMS Sayısal Modeli ve Bozdağ Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Christen, M., Bartelt, P. ve Gruber, U. (2002). AVAL-1D Numerische Berechnung von Fließ und StaUBLawinen, *WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung*, Davos, 25- 28.
- Christen, M., Kowalski, J. ve Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 63(1), 1-14.
- Demir, E. (2018). *Çığ hareketinin sayısal model ile incelenmesi; Bozdağ uygulaması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Deubelbeiss, Y. ve Graf, C. (2013, 29 Haziran – 1 Temmuz). *Two different starting conditions in numerical debris flow models—Case study at Dorfbach, Randa (Valais, Switzerland)*. Publikation zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, St. Niklaus, 125-138.
- Durak, E. (2011). *Türkiye koşulları için çığ düşmesi sonucu bina hasar görülebilirlik derecesinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Eglit, M., Yakubenko, A. ve Zayko, J. (2020). A review of Russian snow Avalanche Models - from analytical solutions to novel 3D models. *Geosciences*, 10(2), 77, 1-42.
- Fischer, J. T., Kowalski, J., ve Pudasaini, S. P. (2012). Topographic curvature effects in applied avalanche modeling. *Cold Regions Science and Technology*, 74(75), 21-30.

- Gauer, P., Body, N.S. ve Aalerud, A.H. (2023) *What avalanche observations tell us about the performance of numerical models*, International Snow Science Workshop Proceedings, Bend, Oregon, USA, 120-127.
- Gauer, P. ve Kristensen, K. (2014) *Avalanche observation at the Ryggfonn test site, Norway, with correlation to snow and weather conditions*, International Snow Science Workshop Proceedings, Banff, Canada, 719-723.
- Grigorian, S. ve Ostroumov, A. (1977). The mathematical model for slope processes of avalanche type (in Russian). Scientific Report No 1955. *Institute for Mechanics, Moscow State University*, Moscow, Russia.
- Hussin, H., Quan Luna, B., Van Westen, C., Christen, M., Malet, J. ve Asch, T. (2012). Parameterization of a numerical 2-D debris flow model with entrainment: a case study of the Faucon catchment, Southern French Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(10), 3075-3090.
- Kitahara, I., Yoshimatsu, H. ve Fujisawa, K. (1991). Study of the Mechanics of Debris Flow and its Simulation Model. *Landslides*, 28(2), 9-19.
- Koçyiğit, Ö. ve 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.
- Köse, N., Aydın, A., Akkemik, Ü., Yurtseven, H. ve 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.
- Lang, T. (1983). Computer program for avalanche runout prediction, *NRCDP Report No:59*, Shinjo, Japan, 1-42.
- Margreth, S. (F. Rudolf-Miklau, S. Sauermoser, A. I. Mears) (2015) *The Technical Avalanche Protection Handbook*, John Wiley & Sons: Berlin, 70.
- Margreth, S., Jürgen S., Michael M., Robert H., Peter G., Wolfgang S., Christoph S., Mears, A. I. ve Siegfried S. (F. Rudolf-Miklau, S. Sauermoser, A. I. Mears) (2015) *The Technical Avalanche Protection Handbook*, John Wiley & Sons: Berlin, 201.
- Martini, M., Baggio, T. ve D'Agostino, V. (2023) Comparison of two 2-D numerical models for snow avalanche simulation, *Science of The Total Environment*, 896(165221), 1-12.
- McClung, D. ve Schaerer, P. A. (2006). *The Avalanche Handbook (Third edition)*. England: The Mountaineers Books, 75,92,132,200.
- Naaïm, M., Durand, Y., Eckert, N. ve Chambon, G. (2013). Dense avalanche friction coefficients: influence of physical properties of snow. *Journal of Glaciology*, 59(216), 771-782.
- Oberndorfer, S. ve Granig, M. (2007). Modellkalibrierung des Lawinensimulationsmodells SamosAT. *Austrian Service for Torrent and Avalanche Control*, Schwaz, 1-15.

- Perla, R., Cheng, T. ve McClung, D. (1980). A two-parameter model of snow-avalanche motion. *Journal of Glaciology*, 26(94), 197-207.
- Peter Samp ve Matthias Granig. (2009). *Avalanche Simulation with SAMOS-AT*, International Snow Science Workshop Proceedings, Davos, 519-523.
- Pudasaini, S.P. ve Hutter, K. (2007) *Avalanche Dynamics*. Berlin: Springer, 602.
- Rudolf S., Wolfgang F., Reinhard F., Philipp J., Lambert, R., Peter S. ve Andreas S. (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., Burkhard, A., ve Gubler, H. (1990). Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *EISLF*, Davos. 1-25.
- Salm, B. (1993). Flow, flow transition and runout distances of flowing avalanches. *Annals of Glaciology* 18, 221–226.
- Sampl, P. (2007). SamosAT–Modelltheorie und Numerik. *AVL List GmbH*, Graz, 1-38.
- Sauermoser, S., Granig, M., Kleemayr, K. ve Margreth, S. (F. Rudolf-Miklau, S. Sauermoser, A. I. Mears) (2015). *The Technical Avalanche Protection Handbook*, Berlin: John Wiley & Sons, 66-67.
- Schmidtner, K., Sailer, N., Bartelt, P., Fellin, W., Fischer, J.T. ve Granig, M. (2018). *Evaluating approaches to assess avalanche hazards from the user point of view*. International Snow Science Workshop Proceedings, Innsbruck, 805–809.
- Siegfried S., Matthias G., Karl K. ve Margreth S. (F. Rudolf-Miklau, S. Sauermoser, A. ve I. Mears) (2015) *The Technical Avalanche Protection Handbook*, John Wiley & Sons: Berlin, 74-77.
- Sovilla, B., Schaer, M., Kern, M ve Bartelt, P. (2008). Impact pressures and flow regimes in dense snow avalanches observed at the Vallée de la Sionne test site, *Journal of Geophysical Research*, 113, 1-14.
- 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.
- 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.
- Volk, G. ve Kleemayr, K. (1999). Lawinen simulations modell ELBA. *Journal for Torrent, Avalanche and Erosion Control*, 23-32.

Wilhelm, C., Wiesinger, T., Bründl, M. ve Ammann, W. J. (2000). *The avalanche winter 1999 in Switzerland -an overview*. International Snow Science Workshop Proceedings, Montana, 487-494.

WSL. (1999). *Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung. Kursunterlagen zur Einführung des Programms AVAL-1D*. Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, 17-38.

Zugliani, D. ve Rosatti, G. (2021) TRENT2D*: An accurate numerical approach to the simulation of two-dimensional dense snow avalanches in global coordinate systems, *Cold Regions Science and Technology*, 190 (103343), 1-27.
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103343>.

İnternet: SLF Home (Mart, 2024). Services and products:

URL: <https://www.slf.ch/en/services-and-products/aval-1d>, Erişim Tarihi: 14/03/2024





Gazili olmak ayrıcalıktır