Çığ Verilerinin Toplanması, Çığın Dinamik ve İstatistiksel Modellemesi ve Durma Mesafesi Uygulaması; Bozdağ Örneği

Program Kodu: 1001

Proje No: 114M311

Proje Yürütücüsü:

Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

Araştırmacılar:

Öğr. Gör. Dr. Erhan TEKİN

Gökhan ARSLAN

Mehmet COŞKUN

Dr. Abdullah CEYLAN

Yusuf ULUPINAR

Bursiyer:

Levent BÜTÜN

MAYIS 2019

ANKARA

ÖNSÖZ

Ülkemizde 1990'lı yılların başlarında yaşanan büyük çığ olaylarının yarattığı can ve mal kayıpları, bu doğal afetin ülkemiz açısından önemini bir kez daha hatırlatmıştır. Bu nedenle problemin kapsamı ve çözümüne yönelik çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalar daha çok akademik kapsamlı olup sınırlı sayıda ve belirli pilot bölgelerde çığ hatlarının tespiti ve haritalanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde çığ probleminin çözümü için farklı disiplinlerin birlikte çalışma yapması gerektiği anlaşılmaktadır. Çığ probleminin çözümüne yönelik çalışmaların ilk aşaması problem yaşanan alandan çığa özgü verilerin (kar örtüsü verileri ve meteorolojik veriler) elde edilmesi ve bu verilerin çözümün her aşamasında kullanılmasının sağlanmasıdır. Çünkü bu problem ile karşı karşıya kalan ve çözüm odaklı çalışmalar gerçekleştirmiş ülkelerdeki kurumların çalışmalarında öne çıkan unsur çığa özgü verilerin düzenli olarak elde edildiği ve uzun yıllar bu verilerin kullanıldığıdır. Bu unsurun öneminden hareketle, Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öncülüğünde, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile birlikte seçilen pilot bir çığ alanı üzerinde *çığa özgü verilerin toplanması, çığın modellenmesi ve bu verilerin çığdan korunma amacıyla kullanımı* konularını kapsayan bir araştırma projesi teklifi TÜBİTAK'a sunulmuştur. TÜBİTAK tarafından desteklenmiş olan projenin sonuçları bu rapor içerisinde sunulmaktadır. Bu vesile ile projeye vermiş olduğu destek sayesinde ülkemizin her kış mevsiminde birçok farklı bölgesinde yaşanan çığ probleminin çözümüne yönelik çalışmaların devamını sağladığı için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

Gazi Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ 2

İÇİNDEKİLER 3

TABLOLAR LİSTESİ 5

ŞEKİLLER LİSTESİ 7

ÖZET 16

ABSTRACT 17

1. GİRİŞ 18

2. LİTERATÜR ÖZETİ 22

2.1 Literatürdeki Çığ Modelleri 24

2.2 Çığ Verilerinin Modellemede Kullanımı 36

2.3 Farklı Sayısal Model Yaklaşımları 38

2.4 İstatistiksel Modelleme Çalışmaları 45

2.5 Türkiye'deki Çığ Model Uygulamaları 50

2.6 Kar Profili ile İlgili Literatür Çalışmaları 52

3. GEREÇ VE YÖNTEM 56

3.1 Arazi Gözlemleri ve Otomatik İstasyon Yerinin Seçimi 57

3.2 Otomatik Çığ İstasyonunun Arazide Kurulumu 61

3.3 Otomatik Çığ İstasyonunun Tanıtımı 65

3.4 İstasyondan Gelen Verilerin Toplanması ve İşlenmesi 74

3.5 Dinamik Simülasyon Yazılımının Tanıtımı 76

3.6 Pilot Bölgede Arazi Stabilite Çalışmaları (Muhtemel Kopma Derinliği Tespiti) 100

3.7 Sayısal Model Çalışmaları 100

3.8 Kütle Merkezi Modeli 112

4. BULGULAR 126

4.1 Dinamik Simülasyon Yazılımının Pilot Bölgede Uygulanması 126

4.2 Çığ Simülasyon Senaryoları 153

4.3 Çığ Durma Mesafesinin İstatistiksel Yaklaşımlarla İrdelenmesi 250
4.4 Arazide Yapılan Kar Profili Çalışmaları 261
4.5 Kar Profili İle Çığ İstasyon Verilerinin İlişkisel Değerlendirilmesi 266
5. TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER 271
5.1 Arazi Stabilite Testi Çalışmaları ve Sürdürebilirliği 271
5.2 Otomatik Çığ İstasyonu 273
5.3 Sayısal Model Çalışmaları 275
5.4 Dinamik Simülasyon Çalışmalarının Değerlendirilmesi (RAMMS Programı) 276
5.5 İstatistiksel Model Çalışmaları 280
5.6 Projenin Yaygın Etkisi 280
5.7 Öneriler 281
KAYNAKLAR LİSTESİ 283
EK 295
EK-1 (İstasyona Ait Veriler) 295
EK-2 PROJE KAPSAMINDA YAZILAN PROGRAM “CIG_1B_V1” KODU 318
EK-3 (Proje Çalıştay Sunumları) 331

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Proje iş zaman çizelgesi 21

Tablo 2. Çığ hızlarının büyüklükleri (Amt der Tiroler Landesregierung/Office of Tyrolean Government (1996) 25

Tablo 3. Voellmy-Salm modelinde kullanılan sürtünme parametrelerine genel bakış (WSL, 1990).....28

Tablo 4. İstasyon için belirlenen muhtemel koordinatlar.....60

Tablo 5 Kar sensörü teknik özelikleri 66

Tablo 6. Koca Dere çığ güzergâhına ait boy-kesitin bölümleri ve bu bölümlere ait bilgiler ..121

Tablo 7. Koca Dere çığ güzergâhı için kullanılan program çıktıları 123

Tablo 8. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS ve CIG_1B_V1 hız çıktılarının karşılaştırıl-ması 124

Tablo 9. Çığların hacme göre sınıflandırılması, SLF (2013, s. 90) 129

Tablo 10. Çığ kopma bölgelerinin hacim, kütle ve sınıflandırması 130

Tablo 11. 100 yıllık tekrarlama periyodu için sürtünme katsayıları, SLF (2013, s. 90).....131

Tablo 12. Çığ patikalarının maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı (sabit ve değişken sürtünme parametreleri) 148

Tablo 13. Senaryo 1'e ait analizlerde kullanılan girdi verileri.....155

Tablo 14 Senaryo 1 Sonuçları Özet Tablosu 166

Tablo 15. Senaryo 2'ye ait analizlerde kullanılan girdi verileri 167

Tablo 16 Senaryo 2 Sonuçları Özet Tablosu 178

Tablo 17. Senaryo 3'e ait analizlerde kullanılan girdi verileri.....179

Tablo 18 Senaryo 3 Sonuçları Özet Tablosu 190

Tablo 19. Senaryo2'ye ait girdi verileri ve anlık çıktıların sınıflandırılması.....193

Tablo 20 400 kg/m3 yoğunluğa sahip 10x10 çözünürlükteki DEM dosyası sonuçları.....246

Tablo 21 400 kg/m3 yoğunluğa sahip 20x20 çözünürlükteki dem dosyası sonuçları.....247

Tablo 22. İstatistiksel Model Parametreleri Özeti 251

Tablo 23. Çığ patikası profili denklem çalışması 253

Tablo 24. Alfa açısı değişkenliği 255
Tablo 25. Örnek çığ patikası için Alfa – Beta modeli mesafeleri.....256
Tablo 26. Örnek çığ patikası için olası alfa-beta modeli sonuçları.....257
Tablo 27. Olası alfa-beta modeli tanımlayıcı istatistik parametreleri.....258
Tablo 28. İstatistiksel model patikası üzerinde Senaryo 2 ve Senaryo 3 durma mesafeleri.260

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Ram (çarpma) etkisi ile penetrometre ölçümü yapan aletlerin 1936 yılında yapılan ilk örnekleri SLF (2015).....22

Şekil 2. Vallée de la Sionne (İsviçre) ölçüm alanından alınan bir çığa ait hız zaman serileri (a):Tüm çığ boyunca;(b): çığın ön yüzü; (c): Çığın orta büyük kütlesi; (d) Çığ arkası (*u*: Çığın ön hızı, *t*: zaman) Kern ve diğerleri (2010).....25

Şekil 3. Çığ modellerinin genel sınıflandırılması (Granig ve Margreth, 2015).....27

Şekil 4. Voellmy-Salm modelinin şematik gösterimi (Margreth, 2015).....29

Şekil 5. AVAL-1D Modeli ve FL-1D için girdi parametreleri (WSL, 1999) 32

Şekil 6. Alfa–Beta ve durma oranı modelinde kullanılan parametrelerin tanımı (Barbolini ve diğerleri, 2000) 46

Şekil 7. Kar özelliklerinin tabakalara göre kaydedilmesi.....55

Şekil 8. Bozdağ Kayak Merkezi 57

Şekil 9. Çığ sebebiyle eğrilen kar direği.....58

Şekil 10. Parçalanan çığ önlem yapıları.....58

Şekil 11. Zirve bölgesinde karşılaşılan olumsuz hava şartları 59

Şekil 12. Muhtemel istasyon noktaları 60

Şekil 13. İstasyonun kurulum aşamaları 62

Şekil 14. Otomatik Çığ İstasyonu ve bileşenleri 63

Şekil 15. Rüzgâr şiddeti (Anemometre) ve yön ölçüm cihazları 65

Şekil 16. Kar yüksekliği ölçüm sensörü.....66

Şekil 17. Yağış (sıvı) ölçüm cihazı.....67

Şekil 18 Yağmur miktarı ölçüm cihazı.....68

Şekil 19. Yüzey Sıcaklık Sensörü ve Ölçüm Mesafesi Açıklaması.....68

Şekil 20. Arazide Kurulan Otomatik İstasyon Üzerinde Kontrol Paneli ve Güneş Paneli 69

Şekil 21. Hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer aleti.....70

Şekil 22. Bağıl Nem (RH) Doğruluk Grafiği.....70

Şekil 23. Albedo değeri ölçüm cihazı.....71

Şekil 24. Manuel Eşel 72
Şekil 25. Ana Taşıyıcı Kafes Sistem ve Kurulması İşlemi 72
Şekil 26. 8 Adet Kar Sıcaklık Sensörleri 73
Şekil 27. LoggerNet v4.3 Yazılımı 74
Şekil 28. LoggerNet Setup Yazılımı ekran görüntüsü 75
Şekil 29. LoggerNet Connect Yazılımı ekran görüntüsü....75
Şekil 30. Sürtünme Parametrelerini Değerleri SLF (2013, s. 22)....78
Şekil 31. Çığ Yineleme Periyodu ve Hacim Kategorisi SLF (2013, s. 23)....79
Şekil 32. Proje Dosyası Oluşturma Penceresi SLF (2013, s. 24) 79
Şekil 33. Sayısal Yükseklik Haritası ve Orman Bilgisi Girişi SLF (2013, s. 25)....80
Şekil 34. Proje koordinatlarının belirlenmesi ve son kontrol penceresi SLF (2013, s. 26)....80
Şekil 35. Bozdağ Kayak Merkezi çığ patikaları 83
Şekil 36. Bozdağ Kayak Merkezi'ne ait yükseklik analizi....84
Şekil 37. Bozdağ Kayak Merkezi'ne ait eğim analizi 85
Şekil 38. Bozdağ Kayak Merkezi'ne ait bakı analizi 86
Şekil 39. İnsan etkisiyle (kayakçılar tarafından) tetiklenen 718 çığın başlama bölgesi eğim açısı aralıkları değişimi 89
Şekil 40. Bozdağ pilot alanına ait eğim haritası 90
Şekil 41. Bozdağ pilot alanına ait bakı haritası 92
Şekil 42. Plan eğrisellik değerlerine göre içbükey (concave) ve dışbükey (convex) arazilerin CBS yardımıyla tespiti (Maggioni ve Gruber, 2003) 93
Şekil 43. Bozdağ pilot alanına ait eğrisellik haritası 94
Şekil 44. Bozdağ pilot alanına ait yükseklik haritası....95
Şekil 45. Bozdağ a) Zirveden kuzey yüzü b) Zirveden telesiyej ve kayak merkezi 96
Şekil 46. Koca Dere çığ güzergâhı için potansiyel kopma bölgesi 97
Şekil 47. Çığ kopma bölgeleri....98
Şekil 48. Çığ kopma bölgeleri....99
Şekil 49. Eğimli yüzeyde kar örtüsü yüksekliği....102
Şekil 50. Kar bloğuna etki eden kuvvetler....102

Şekil 51. Çığ Programı Akış Şeması.....105
Şekil 52 Çığ Hattı Boyunca Kar Derinliğinin Zamanla Değişimi.....110
Şekil 53 Çığ Hattı Boyunca Kar Derinliğinin Zamanla Değişimi (İlk 25 Hücre Gösterimli)....111
Şekil 54 Çığ Hattı Boyunca Çığ Hızlarının Zamanla Değişimi.....111
Şekil 55 Çığ Hattı Boyunca Çığ Hızlarının Zamanla Değişimi (İlk 25 Hücre).....112
Şekil 56 . Çığın hızlanmasına karşı koyan kuvvetler (Perla ve diğerleri, 1980) 113
Şekil 57. Ardışık üç koordinat, çember ve eğrilik yarıçapı ilişkisi.....116
Şekil 58. Çığ Programı, CIG_1B_V1 İçin Genel Akış Şeması.....118
Şekil 59. **CIG_1B_V1** programı girdi verilerinin bulunduğu "CIG.DAT" isimli dosya örneği .119
Şekil 60. Sayısal çözümde kullanılan önemli değişkenlerin arazi üzerinde gösterimi.....119
Şekil 61. Koca Dere çığ güzergâhı ve Kayak Merkezinin planda görünüşü.....120
Şekil 62. Koca Dere çığ güzergâhının boy kesiti ve hesaplamalarda kullanılan kısmi bölümler 121
Şekil 63. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS program max. hızları plandaki görünümü.123
Şekil 64. RAMMS ve CIG_1B_V1 hız çıktılarının karşılaştırılması 124
Şekil 65. RAMMS Bozdağ modeli.....127
Şekil 66. Bozdağ arazi eğimi haritası.....128
Şekil 67. Bozdağ yükseklik haritası.....128
Şekil 68. Bozdağ eğrilik haritası.....129
Şekil 69. 100 yıllık tekrarlama süresi için sürtünme katsayılarının topografya ile değişimi ..132
Şekil 70. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ).....134
Şekil 71. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ) 134
Şekil 72. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ) 135
Şekil 73. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ).....135
Şekil 74. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ) 136
Şekil 75. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ).....136
Şekil 76. 2 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 137
Şekil 77. 3 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 138

Şekil 78. 4 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 139
Şekil 79. 5 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 140
Şekil 80. 6 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 141
Şekil 81. 7 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 142
Şekil 82. 8 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 143
Şekil 83. 9 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 144
Şekil 84. 10 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 145
Şekil 85. 11 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 146
Şekil 86. 12 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı 147
Şekil 87. Bozdağ Kayak Merkezi çizgi profili.....149
Şekil 88. 2 No.lu çığ patikası üzerinde çizgi profili ve nokta yerleşimi 150
Şekil 89. 2 No.lu patika için maksimum kar yüksekliği arazi profili ile değişimi.....151
Şekil 90. 2 No.lu patika için maksimum çığ hızının arazi profili ile değişimi.....151
Şekil 91. 2 No.lu patika için maksimum çığ basıncının arazi profili ile değişimi 152
Şekil 92. 2 No.lu patika için maksimum kar yüksekliğinin zamanla değişimi 152
Şekil 93 Bozdağ Kuzey Yamacında Çalışılan Çığ Patikaları.....153
Şekil 94. S1-H50-Tr300 ve S1-H50-Tr100 Analiz Sonuçları 156
Şekil 95. S1-H50-Tr30 ve S1-H50-Tr10 Analiz Sonuçları 157
Şekil 96. S1-H75-Tr300 ve S1-H75-Tr100 Analiz Sonuçları 158
Şekil 97. S1-H75-Tr30 ve S1-H75-Tr10 Analiz Sonuçları 159
Şekil 98. S1-H100-Tr300 ve S1-H100-Tr100 Analiz Sonuçları.....160
Şekil 99. S1-H100-Tr30 ve S1-H100-Tr10 Analiz Sonuçları 161
Şekil 100. S1-H125-Tr300 ve S1-H125-Tr100 Analiz Sonuçları.....162
Şekil 101. S1-H125-Tr30 ve S1-H125-Tr10 Analiz Sonuçları 163
Şekil 102. S1-H150-Tr300 ve S1-H150-Tr100 Analiz Sonuçları.....164
Şekil 103. S1-H150-Tr30 ve S1-H150-Tr10 Analiz Sonuçları 165
Şekil 104. S2-H50-Tr300 ve S2-H50-Tr100 Analiz Sonuçları 168
Şekil 105. S2-H50-Tr30 ve S2-H50-Tr10 Analiz Sonuçları 169

Şekil 106. S2-H75-Tr300 ve S2-H75-Tr100 Analiz Sonuçları 170
Şekil 107. S2-H75-Tr30 ve S2-H75-Tr10 Analiz Sonuçları 171
Şekil 108. S2-H100-Tr300 ve S2-H100-Tr100 Analiz Sonuçları.....172
Şekil 109. S2-H100-Tr30 ve S2-H100-Tr10 Analiz Sonuçları 173
Şekil 110. S2-H125-Tr300 ve S2-H125-Tr100 Analiz Sonuçları.....174
Şekil 111. S2-H125-Tr30 ve S2-H125-Tr10 Analiz Sonuçları 175
Şekil 112. S2-H150-Tr300 ve S2-H150-Tr100 Analiz Sonuçları.....176
Şekil 113. S2-H150-Tr30 ve S2-H150-Tr10 Analiz Sonuçları 177
Şekil 114 S3-H50-Tr300 ve S3-H50-Tr100 Analiz Sonuçları 180
Şekil 115 S3-H50-Tr30 ve S3-H50-Tr10 Analiz Sonuçları 181
Şekil 116 S3-H75-Tr300 ve S3-H75-Tr100 Analiz Sonuçları 182
Şekil 117 S3-H75-Tr30 ve S3-H75-Tr10 Analiz Sonuçları 183
Şekil 118 S3-H100-Tr300 ve S3-H100-Tr100 Analiz Sonuçları.....184
Şekil 119 S3-H100-Tr30 ve S3-H100-Tr10 Analiz Sonuçları 185
Şekil 120 S3-H125-Tr300 ve S3-H125-Tr100 Analiz Sonuçları.....186
Şekil 121 S3-H125-Tr30 ve S3-H125-Tr10 Analiz Sonuçları 187
Şekil 122 S3-H150-Tr300 ve S3-H150-Tr100 Analiz Sonuçları.....188
Şekil 123 S3-H150-Tr30 ve S3-H150-Tr10 Analiz Sonuçları 189
Şekil 124. Bozdağ Kayak Merkezi Google Görüntüsü ve Koordinatları.....191
Şekil 125. Bozdağ Kayak Merkezi üzerinden alınan kesitin gösterimi.....192
Şekil 126. Çığ simülasyon görüntüsünden bir an.....194
Şekil 127. Çalışılan kesitin grafiği ve grafikten elde edilen okumalar 195
Şekil 128. H50_H1-H2-H3 için kesit analizleri.....196
Şekil 129. H50_H4-H5-H6 için kesit analizleri.....197
Şekil 130. H50_V1-V2-V3 için kesit analizleri 198
Şekil 131. H50_V4-V5-V6 için kesit analizleri 199
Şekil 132. H50_P1-P2-P3 için kesit analizleri 200
Şekil 133. H50_P4-P5-P6 için kesit analizleri 201

Şekil 134. H75_H1-H2-H3 için kesit analizleri.....202
Şekil 135. H75_H4-H5-H6 için kesit analizleri.....203
Şekil 136. H75_V1-V2-V3 için kesit analizleri 204
Şekil 137. H75_V4-V5-V6 için kesit analizleri 205
Şekil 138. H75_P1-P2-P3 için kesit analizleri 206
Şekil 139. H75_P4-P5-P6 için kesit analizleri 207
Şekil 140. Analiz Yapılan Noktaların Arazi Üzerindeki Yerleri.....208
Şekil 141. P1 noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi.....210
Şekil 142. P1 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi 211
Şekil 143. P1 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi 212
Şekil 144. P2 noktasının zamana göre çığ yüksekliği değişimi 213
Şekil 145. P2 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi 214
Şekil 146. P2 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi 215
Şekil 147. P3 noktasının zamana göre çığ yüksekliği değişimi 216
Şekil 148. P3 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi 217
Şekil 149. P3 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi 218
Şekil 150. P4 noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi.....219
Şekil 151. P4 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi 220
Şekil 152. P4 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi 221
Şekil 153. P5 noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi.....222
Şekil 154. P5 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi 223
Şekil 155. P5 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi 224
Şekil 156. KM noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi.....225
Şekil 157. KM noktasının zamana göre çığ hızının değişimi 226
Şekil 158. KM noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi 227
Şekil 159. P1 Noktasının üç boyutlu görüntüsü (Çığ Gelmeden Hemen Önce).....229
Şekil 160. P1 Noktasının Üç Boyutlu Görüntüsü (Çığ Geldiği Anda).....230
Şekil 161. Saptırma barajının plandan bir görüntüsü 232

Şekil 162. Çığ Simülasyonunun Kayak Merkezine Geldiği Andaki Görüntü ve Çığ Yüksekliği 233

Şekil 163. Kayak Merkezinin Orta Noktasında Çığ Yüksekliğinin Zamana Bağlı Değişimi (Duvar Yok).....234

Şekil 164. 5 metrelik saptırma barajının sayısal yükseklik haritasındaki görüntüsü.....235

Şekil 165. Akan çığ kütlesinin kayak merkezine geldiği anın plan görüntüsü ve çığ yüksekliği sonuçları (5m'lik saptırma barajı var.).....236

Şekil 166. Kayak merkezinin orta noktasında çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi (5 metrelik saptırma barajı var.).....237

Şekil 167. Akan çığ kütlesinin kayak merkezine geldiği anın çığ yüksekliği sonuçları (10m'lik saptırma barajı var.) 238

Şekil 168. Kayak merkezinin orta noktasında çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi (10 metrelik saptırma barajı var.).....239

Şekil 169. 15 metrelik saptırma barajının sayısal yükseklik haritasındaki görüntüsü.....240

Şekil 170. Çığın saptırma duvarına çarptığı andan bir görüntü 240

Şekil 171. Saptırma barajında oluşan birikimler ve yönü değişen çığ simülasyonunun görüntüsü 241

Şekil 172. Saptırma barajının etkisiyle kayak merkezini etkilemeyen çığ akışının üç boyutlu görüntüsü 241

Şekil 173. Akan çığ kütlesinin kayak merkezine geldiği anın çığ yüksekliği sonuçları ve görseli (15m'lik saptırma barajı var.) 242

Şekil 174. Kayak merkezinin orta noktasında çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi (15 metrelik saptırma barajı var.).....243

Şekil 175. Kayak merkezindeki çığ yüksekliklerinin zamana bağlı değişimlerinde saptırma barajının etkileri.....244

Şekil 176 Çalışılan çığ güzergahı için seçilen enkesit yerleri 245

Şekil 177 10 m X 10 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum basınçlar 248

Şekil 178 20 m X 20 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum basınçlar 248

Şekil 179 10 m X 10 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar 249

Şekil 180 20 m X 20 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar 249

Şekil 181. Alfa–Beta modelinde kullanılan parametrelerin tanımı Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014).....251

Şekil 182. Statistiksel model irdelemesinde kullanılan çığ patikası 252

Şekil 183. Çığ patikası boy profili.....253

Şekil 184. Çığ patikası boy profili.....258

Şekil 185. Ortalama yatay durma (1462 m) ve maksimum durma (1597 m) mesafesinin patika üzerinde yeri.....259

Şekil 186. Bozdağ Kayak Merkezi ve muhtemel çığ patikaları 261

Şekil 187. Bozdağ batıdan görünüş.....262

Şekil 188. Bozdağ kuzey cephede açılan kar çukuru (Dr. Erhan Tekin).....263

Şekil 189. Kar-su eşdeğeri ölçümü (Dr. Önder Koçyiğit).....263

Şekil 190. Bozdağ güney yüzüne ait kar profili-1 264

Şekil 191. Bozdağ kuzey yüzüne ait kar profili-2.....265

Şekil 192 Profil alınan noktanın Google Earth programında görüntüsü.....266

Şekil 193 Kar profili için açılan çukur ve tabakaların görüntüsü 267

Şekil 194 Tabaka sertliği, nem içeriği, dane büyüklüğü, kristal tipleri ve kar sıcaklıkları ölçümleri 267

Şekil 195 27 Mart 2016 tarihinde Bozdağ üst kotlarından alınan kar profili 269

Şekil 199. Rüzgar Yönleri 295

Şekil 200. Rüzgar Yönü Histogramı.....296

Şekil 201. Ortalama rüzgar hızı 299

Şekil 202. Maksimum rüzgar hızı.....299

Şekil 203. Maksimum hava sıcaklığı.....301

Şekil 204. Minimum hava sıcaklığı 301

Şekil 205. N1 Konumu maksimum sıcaklık 303

Şekil 206. N1 Konumu minimum sıcaklık....304
Şekil 207. N2 Konumu maksimum sıcaklık....304
Şekil 208. N2 Konumu minimum sıcaklık....305
Şekil 209. N3 Konumu maksimum sıcaklık....305
Şekil 210. N3 Konumu minimum sıcaklık....306
Şekil 211. N4 Konumu maksimum sıcaklık....306
Şekil 212. N4 Konumu minimum sıcaklık....307
Şekil 213. N5 Konumu maksimum sıcaklık....307
Şekil 214. N5 Konumu minimum sıcaklık....308
Şekil 215. N6 Konumu maksimum sıcaklık....308
Şekil 216. N6 Konumu minimum sıcaklık....309
Şekil 217. N7 Konumu maksimum sıcaklık....309
Şekil 218. N7 Konumu minimum sıcaklık....310
Şekil 219. N8 Konumu maksimum sıcaklık....310
Şekil 220. N8 Konumu minimum sıcaklık....311
Şekil 221. Maksimum nispi nem....313
Şekil 222. Minimum nispi nem....313
Şekil 223. Ortalama albedo değerleri....314
Şekil 224. Ortalama yüzey sıcaklığı....315
Şekil 225. Kasım – Nisan Sıvı Yağışı....316
Şekil 226. Kar yüksekliği....317

ÖZET

Kar çığları dağlık bölgelerdeki insan yaşamını tehdit etmekte ve ulaşım şartlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bir doğal afet olarak çığ, Avrupa Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Kanada, Japonya, Hindistan gibi Dünyanın birçok ülkesinde görülmektedir. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %67'sinin 800 metreden daha yüksek dağlık arazide yer aldığı düşünüldüğünde, ülkemizin ne kadar kar ve çığ ile mücadele etmek zorunda olduğu açıktır. Çığ bir afet olarak birçok insanın hayatına ve maddi zararlara neden olmaktadır. Örneğin sadece 1992 kış mevsiminde ülkemizde meydana gelen çığlar neticesinde, 300'den fazla insanın hayatına ve çok büyük maddi kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle 1992 kışından hemen sonra ülkemizde çığ zararlarını azaltma amaçlı projeler ve akademik çalışmalar başlatılmıştır. Hâlbuki bu konu ile ilgili Avrupa'daki çalışmalar 1950'li yıllarda başlatılmıştır. Hem çığ tahmininde hem de çığ modellemesi amaçlı kullanılabilecek, ülkemize ait çığ verilerinin elde edilmesi ile ilgili bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır. Çığ verileri, çığ başlama bölgesinden alınması gereken özel kar verileridir. Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte bu tür verilerin elde edilmesi ve verilerin saklanması kolay, sonuçları güvenilir ve kullanımı kolay olmaktadır. Bu projede öncelikle çığ verilerinin bir pilot alan için toplanması, düzenlenmesi ve son olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Buna yönelik olarak bir otomatik çığ istasyonu kurulmuştur. Pilot bölge olarak İzmir yakınlarında bulunan Bozdağ kayak merkezi seçilmiştir. İsviçre Çığ Araştırma Merkezi (SLF) tarafından geliştirilmiş RAMMS isimli sayısal model kullanılarak çığ hattı boyunca hız, basınç ve çığ yüksekliği değerleri belirlenmiştir. Ayrıca durma mesafesinin hesaplanması amacıyla istatistiksel yöntemler değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda pilot bölge için elde edilen sonuçlar diğer bölgelere de uygulanabilecektir. Çığ dinamik model sonuçları sayesinde çığ tehlikesi ile karşı karşıya kalan alanların tehlike sınırları içerisinde olup olmadığı, yeni yerleşim alanlarının planlanması, kayak merkezlerinin planlanması, çığ bariyerlerinin ve çığ barajlarının projelendirilmesi, ulaşım projelerinin hat seçimleri, çığ tünellerinin yer tespiti ve tasarımında kullanılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Çığ, Çığ istasyonu, Çığ Modeli, RAMMS, Sürtünme katsayıları, Bozdağ

ABSTRACT

Snow avalanches form a threat to human life in mountainous regions and significantly affect transportation conditions. Avalanche as a natural disaster can be encountered in many countries all around the world such as Europe, the United States, Russia, Canada, Japan, India etc. Of considering the fact that 67% of Turkey's land is situated on highlands above 800 m altitude, struggle against snow and avalanches is inevitable natural phenomena in our country. Academic studies and projects were aimed to reduce damages just after occurrence the biggest avalanche disasters in Turkey ever seen in 1992 resulting with more than 300 human lives and huge material losses. Whereas, avalanche research studies in Europe have already been continuing since 1950's. A comprehensive study which concerning national snow and avalanche data are regularly recorded to be used for both avalanche forecast and modeling has not been carried out until today. Snow data is very special data group that should be collected from avalanche release zone be used in avalanche modeling and forecasting. With the development of technology today, the recording stations are easily established, this kind of data acquisition and data storage easy, the results are more reliable. In this project, primarily we aimed to achieve data collection, storage and evaluate for a pilot area. In this context, an automatic avalanche station was installed near the release zone. Bozdağ ski resort located near İzmir city was chosen as a pilot area. RAMMS (**RA**pid **M**ass **M**ovement **S**imulation) numerical model which was developed by quite experienced Swiss Avalanche Research (SLF) Center at Davos was used in order to determine velocity, pressure and avalanche height. Statistical methods for determining the runout distance was investigated by evaluating the most appropriate solutions. The results obtained from the project can be applied in many sectors such as in determining boundaries of avalanche danger, planning new residential areas and ski centers, designing dams, avalanche barriers, transportation projects, designing tunnels etc.

Keywords: Avalanche, Avalanche station, Avalanche Model, RAMMS, Friction coefficients, Bozdag

1. GİRİŞ

Türkiye'de özellikle 1990'lı yılların başlarında yaşanan büyük çığ olayları sonucunda birçok insanın hayatını kaybetmesi ile birlikte çığ probleminin önemi ve alınması gereken önlemler konularında bazı çalışmalar başlatılmıştır. Afetler ile ilgili kamu kurumları ve üniversiteler bu konuda çalışma yapan kurumların başında gelmektedir. Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü bu konuda çalışma yapan kurumlardandır. Özellikle İsviçre, Fransa ve Avusturya gibi çığ önleme konularında birçok uygulamaları mevcut ülkelerle ortak projeler yürütülmüş ve bu ülkelerdeki çığ enstitülerinin bilgi birikimlerinden faydalanılmıştır. Zaman zaman yapılan personel hareketliliği sayesinde bu ülkelerde yapılan çığ önlem çalışmalarının ayrıntıları konularında fikir sahibi olunmuştur. Kısa dönem yapılan ziyaretler konunun ayrıntılarından ziyade temel çalışmaların takibi şeklindedir. 1995'li yıllarda ülkemizde başlayan çığ çalışmalarının birçoğu doğrudan çığdan korunma yöntemleri konularında yoğunlaşmış fakat araştırma ve geliştirme konuları üzerinde yeterince durulmamıştır. Hâlbuki özellikle Avrupa ülkelerinde çığ problemi ile karşı karşıya kalan ülkelerin tümünde en az bir araştırma enstitüsü mevcut olup kar ve çığ konularının farklı disiplinlerinde araştırma yapan birçok bilim insanı bu kurumlarda çalışmaktadır. Türkiye'de her yıl kar ve çığa karşı mücadele için yapılan harcamalar dikkate alındığında bu konularda araştırmaların yapılması gerekliliği açıktır.

Çığa karşı mücadele birçok farklı disiplinin ortak çalışmasını gerekmektedir. Haritalama, kar fiziği, istatistiksel çalışmalar, meteorolojik ve ölçüm çalışmaları, çığın önceden tahmini çalışmaları, dinamik model çalışmaları, koruma yapılarının tasarımı ve inşası, acil kurtarma, afet öncesi ve sonrası yapılacak çalışmalar, çığ eğitimleri (hem halkın hem de uzman kişilerin her türlü eğitimi), şehir ve bölgenin planlanması gibi birçok alan bu kapsam içerisinde düşünülebilir.

Çığdan korunma amaçlı yapılması düşünülen yapıların planlama aşamaları ise üç ana grupta özetlenebilir:

- Çığ tehlikesi altında bulunan alanlar ve hatlar tespit edilir (haritalama çalışmaları), risk çalışmaları gerçekleştirilir.
- Çığ oluşması muhtemel hatlara ait eski meteorolojik kayıtlar, kar örtüsü bilgileri ve önceki çığ verilerinin elde edilmesi ile muhtemel senaryolar kurgulanıp sayısal çığ dinamik modelleri (bilgisayar modelleri) çalıştırılır,
- Muhtelif senaryoların bilgisayar model sonuçları, arazinin topoğrafyası, yerleşim birimlerinin, iletim hatlarının konumları vb. parametreler üzerinde yapılan istişareler neticesinde karar vericiler çeşitli koruma yapılarından birine veya birkaç alternatife karar verirler.

Hangi tür çığdan korunma yapısına karar verilirse verilsin çığ çalışmalarının tümünde altyapı oluşturacak kar örtüsü ve meteorolojik verilerin elde edilmesi en önemli aşamadır. Bu nedenle bu proje çalışmasında öncelikli olarak çığ başlangıç kotlarından kar verilerinin otomatik olarak elde edilmesi ve bu verilerin tüm çığ çalışmalarına altlık teşkil etmesi için gerekli şartların test edilmesi çalışması yapılmıştır.

Çığ önlemi, kar fiziği veya çığ tahmini çalışmalarında genel olarak rakım, kar yüksekliği, bakı, bitki örtüsü, arazi şekli, hâkim rüzgâr yönü, hava ile ilgili temel meteorolojik parametrelerin yanı sıra kar örtüsü içerisindeki sıcaklık, mukavemet, nem, kristal yapısı, sertlik, dane büyüklüğü vb. parametreler kullanılmaktadır. Türkiye'de kar ile ilgili veriler farklı kurumlar tarafından toplanmakta ve değerlendirilmektedir. Fakat her kurum kendi ihtiyaçları doğrultusunda istasyon kurduğundan çığ ile ilgili gerekli veriler bugüne kadar düzenli bir şekilde toparlanamamıştır. Örneğin en kapsamlı kar verileri Devlet Meteoroloji İşleri tarafından düzenli bir şekilde kayıt edilse de çığ kopma bölgesi kotunda istasyon mevcut olmadığından alınan kar verileri çığ tehlikesinin belirlenmesi amaçlı olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında birinci öncelikli olarak çığ öncesi kapsamlı verilerin toplanabileceği bir otomatik ölçüm istasyonu kurulumu planlanmıştır. Ulaşım, yaşam tehlikesi, önceki çığlar, coğrafi yapı, kar şartları, ekonomik şartlar ve güvenlik nedenleri göz önünde bulundurulduğunda proje pilot alanı olarak İzmir İli içerisinde bulunan Bozdağ kayak merkezi seçilmiştir. Burada 2012-2013 kış sezonunda iki çığ meydana gelmiş, bunlardan birinde bir can kaybı olmuş diğerinde ise kayak tesisi maddi hasar görmüştür.

Özellikle yerleşime açık ve çığ patikası altında bulunan bölgeler için mutlaka çığ tehlikesine maruz kalıp kalmadığının tespiti gerekmektedir. Günümüzde bu çalışma çığın dinamik olarak modellenmesini sağlayan bilgisayar yazılımları ile yapılabilir. Bilgisayar yazılımları 1980'li yıllarda başlamış olup günümüzde geliştirilerek devam etmektedir. Özellikle İsviçre başta olmak üzere Avrupa ülkeleri ve Japonya, çığın dinamik modellenmesi konusunda ilk akla gelen ülkelerdendir. Bu ülkelerdeki araştırma merkezleri tarafından geliştirilmiş modellerin ülkemiz için uygunluğu henüz kesinlik kazanmamıştır. Bu konuda öncü araştırma merkezlerinden biri İsviçre'nin Davos kentinde bulunan SLF (Institute for Snow and Avalanche Research SLF) araştırma merkezidir. Bu merkezde çığın dinamik modellenmesi ile ilgili çalışmalar 1950'li yıllardan bu yana kesintisiz olarak devam etmektedir. Geliştirmiş oldukları AVAL-1D (bir boyutlu) ve RAMMS (RApid Mass Movement Simulation) isimli iki boyutlu çalışan fakat üç boyutlu arazi üzerinde görülebilen bu dinamik modeller, İsviçre ve birçok dünya ülkesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında RAMMS dinamik modelinin ülkemize uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır. Proje yürürlükte iken veri toplanması süresince patika üzerinde çığ meydana gelirse mevcut çığın fiziksel verileri ölçülerek, sayısal modelde kullanılan parametreler ile uygunluklarının tespiti planlanmıştır. Ayrıca proje kapsamında

ülkemize ait bir dinamik modelin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yeni bir dinamik modelin oluşturulması tek başına anlamlı değildir. Her durumda temel adım çığa özgü verilerin toplanması gerekliliğidir. Verilerin elde edilmesi ve saklanması uzun yıllara dayanan bir süreçtir. Bu nedenle şu anda kullanımı yaygın olan bir yazılım ile geliştirilecek olan modelin tahmin ettiği durma mesafelerinin kıyaslanması hedeflenmiştir. Böylece ülkemiz şartları için çalışan sayısal bir çığ modeli mevcut olacaktır.

Projenin ön literatür araştırması çalışmalarından son yıllarda çığın istatistiksel boyutu ile ilgili araştırmaların da yapıldığı görülmektedir. Özellikle durma mesafesi tespitinde birçok farklı istatistiksel yaklaşım sınanmıştır. Dinamik modellerle birlikte çığ analizlerinde istatistiksel modellerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Çığ durma mesafesinin istatistiksel olarak hesaplanmasında literatürde var olan yaklaşımların ele alınması ve Bozdağ pilot bölgesinden elde edilecek verilerle bu çalışmanın yapılması projenin bir diğer aşaması olarak planlanmıştır. Ayrıca pilot bölgede çığ düşmesi durumunda istatistiksel olarak durma mesafesi tahmin yaklaşımlarının uygunluklarının sınanması hedeflenmiştir.

Türkiye'de çığ afeti ile yerleşim birimlerinde sık sık karşı karşıya kalınmadığı için hem kurumsal hem de toplumsal açıdan çığa karşı önlem bilinci oluşturulamamıştır. Bu nedenle bu projenin ana amaçlarından birisi de toplumsal ve kurumsal farkındalık yaratarak özellikle kamu kurumlarının teknik birimlerine (örneğin karayolları, demiryolları, enerji nakil hatları, özel idare, kayak merkezi planlaması, belediyeler vb.) çığa karşı önlem çalışmalarının öneminin aktarılmasıdır. Proje sonunda düzenlenmesi planlanan çalıştay ile özellikle kurumlarda çalışan teknik personelin çığa karşı önlem ve çığ zararlarının azaltılması konularında bilgilendirilmesi sağlanacaktır.

Projede yapılması hedeflenen çalışmaların tümü Tablo 1'de verilen iş paketi çizelgesinde özetlenmiştir.

Tablo 1. Proje iş zaman çizelgesi

İ.P.	AYLAR																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	x	x	x	x																																
2		x	x																																	
3			x	x	x	x																														
4				x	x																															
5						x	x	x	x	x																										
6											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
8				x																																
9					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11									x	x	x	x										x	x	x	x									x	x	x
12									x	x	x	x	x									x	x	x	x	x								x	x	x
13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
14																															x	x	x	x	x	x

İş-Zaman Çizelgesinde (Tablo 1) belirtilen İş Paketlerinin (İP) projede verilen tanımları:

İP-1 Literatür Çalışması

İP-2 Pilot bölgeyi etkileyen çığ patikalarının tespiti

İP-3 Pilot bölgenin DEM'lerinin kurulması. Arazide belirlenen muhtemel çığ patikalarının CBS yazılımı ortamında işlenmesi ve gerekli analizlerin yapılması

İP-4 Arazide otomatik istasyon yerinin seçilmesi

İP-5 Otomatik istasyon kurulması, çalıştırılması ve test edilmesi

İP-6 İstasyondan gelen verilerin bilgisayar ortamında toplanması ve işlenmesi

İP-7 Türkiye'ye özgü bir sayısal modelin hazırlanması ve programlanması

İP-8 Dinamik simülasyon yazılımının temini ve eğitimi

İP-9 Dinamik simülasyon yazılımının çalıştırılması

İP-10 Çığ durma mesafesinin istatistiksel yaklaşımlarla irdelenmesi

İp-11 Arazide stabilite testi yapılması

İP-12 Çalışma süresi içerisinde meydana gelebilecek çığın fiziksel ölçümlerinin alınması (çığ olması durumunda)

İP-13 Web sayfası hazırlanması ve güncelleştirilmesi

İP-14 Toplantı düzenlenmesi

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Projenin birinci iş paketi olan literatür çalışması, planlandığı gibi projenin ilk 4 aylık kısmında tamamlanmıştır. Çığ ile ilgili literatürün oldukça geniş kapsamlı olduğu görülmüştür. Literatürde karşılaşılan çalışmaların büyük bir bölümünü özellikle Avrupa'da yapılan araştırmalar oluşturmaktadır. Bu konuda araştırma yapan diğer ülkelerin başında ise A.B.D ve Japonya gelmektedir. Ülkemizde yapılan çalışmalar da literatür özetinde verilmiştir. Literatürde konu ile ilgili oldukça kapsamlı makaleler, bildiriler, raporlar, tezler ve araştırma proje çalışmaları mevcuttur. Burada öncelikle konu ile ilişkili ve önemli olduğu düşünülen ve günümüze kadar olan gelişimi yansıtan literatür çalışmaları derlenmiştir.

Kar ve çığ ile ilgili bilimsel çalışmalar Avrupa'da çok eski yıllara dayanmaktadır. İnsanların dağlık alanları, geçit veya yaşam alanı olarak kullanmaları ile birlikte çığ felaketinin yıkıcı etkileri de artmıştır. Avrupa'da ilk çığ araştırma laboratuvarı 1935 yılında Davos'ta kurulmuştur. Ram (çarpma) testi için kullanılan aletler, kayma test aparatları ve kardaki hava miktarının tespiti için kullanılan aletlerin ilk tasarımları 1936 yılında bu araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 1'de penetrasyon için kullanılan aletlerin ilk örnekleri verilmiştir. 2000'li yıllara kadar penetrasyon için kullanılan aletler benzer yapıya sahip iken günümüzde malzeme, elektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişim kar katmanlarındaki özellikleri çok daha hızlı ve hassas ölçümler yapma noktasına getirmiştir. Bu konudaki gelişmeler halen devam etmektedir.



Şekil 1. Ram (çarpma) etkisi ile penetrometre ölçümü yapan aletlerin 1936 yılında yapılan ilk örnekleri SLF (2015).

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

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

Yapılan literatür araştırması çalışmalarından son yıllarda çığın istatistiksel boyutu ile ilgili çalışmaların da gerçekleştirildiği görülmektedir. Özellikle durma mesafesi tespitinde farklı istatistiksel yaklaşımlar sınanmıştır. Dinamik modellerle birlikte çığ analizlerinde istatistiksel modellerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Çığ durma mesafesinin istatistiksel olarak hesaplanmasında literatürde var olan yaklaşımların ele alınması ve Bozdağ pilot bölgesi üzerinde yapılan bir uygulama ileriki bölümlerde anlatılacaktır.

Çığ hareketini tanımlamak için literatürde kullanılan ana kriterler, matematiksel modeller ve bu konularda yapılmış çalışmalar bu bölüm içerisinde özetlenmiştir.

2.1 Literatürdeki Çığ Modelleri

Fiziksel açıdan bakıldığında temel olarak, çığlar, karın yerçekimi etkisi ile akma süreci olarak tanımlanabilir. Kar malzemesinin çok değişken bir yapıya sahip olması ve çevresel etkenlerin bu durumu kolaylıkla değiştirmesi nedeniyle çığ hareketinin fiziksel ve matematiksel açıdan tam ve doğru tanımı mevcut değildir (Sauermoser ve diğerleri, 2015).

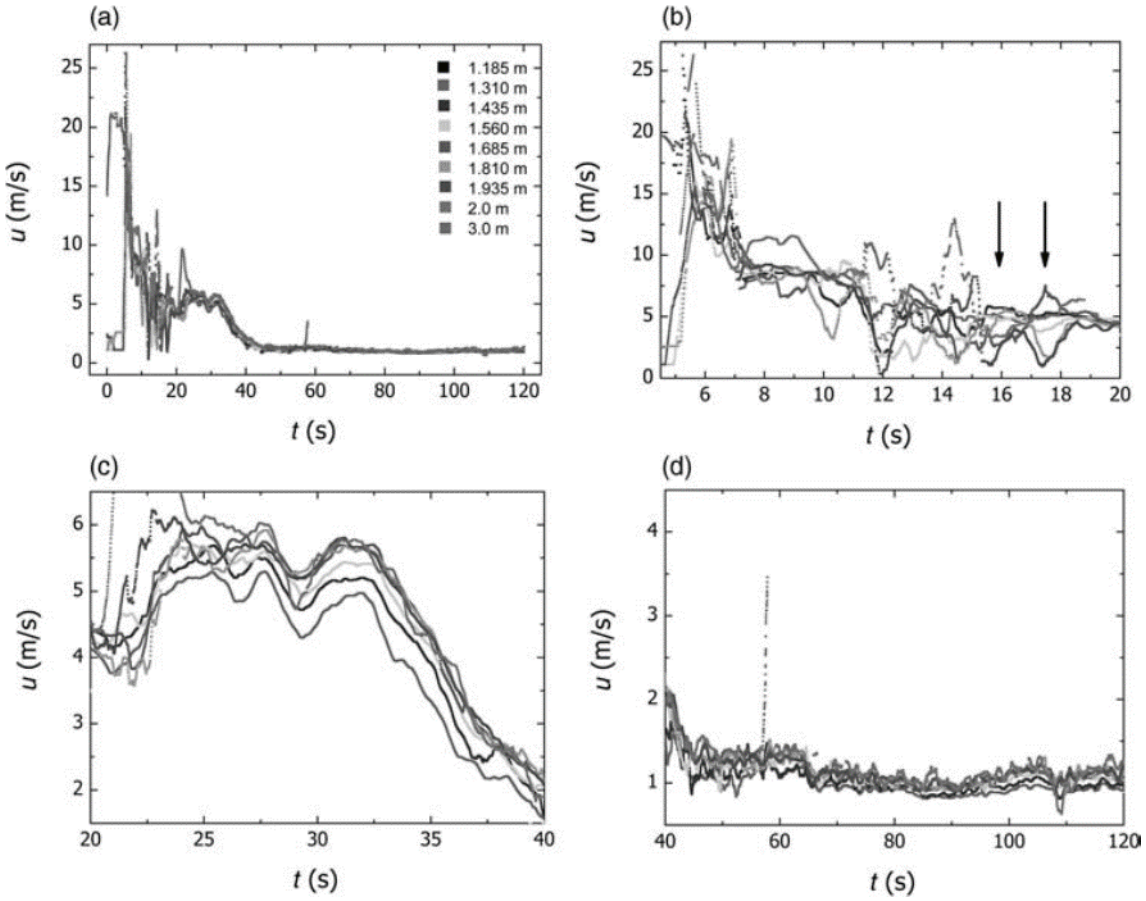
Çığ modellerinin gelişimi gerçek fiziksel (kar akımı) davranışının iyi anlaşılması ile mümkündür. Bu nedenle literatürde çığ akımını arazide veya deneysel olarak inceleyen çalışmalar burada öncelikle verilmiştir.

Uygulama açısından bir çığ hareketi; hız (v), akım yüksekliği (h) ve yoğunluk özellikleri ile tanımlanabilir. Bu özelliklere ek olarak maksimum durma mesafesi ve uygulanan basınç değerleri risk analizi açısından önemli özelliklerdir. Bu parametrelerin ölçümüne ait örnekler bir uygulama alanında Issler ve diğerleri (1999), Issler (2003) tarafından deneysel olarak çalışılmıştır. Ayrıca çığ yüzeyi üzerinden uygulanan optik yöntemler (video analizi, alansal lazer tarayıcı) sayesinde çığa ait akım yüksekliği belirlenebilir (Vallet ve diğerleri, 2004). Benzer süreç Gauer ve diğerleri (2007), Rammer ve diğerleri (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda radar yardımı ile çığ ön cephesindeki hız dağılımını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Çığ kütlesi içerisindeki hız ve basınç etkilerini Kern ve diğerleri (2009), Kern ve diğerleri (2010), Sovilla ve diğerleri (2008), Turnbull ve McElwaine (2007) gibi araştırmacılar çığ hattı üzerine yerleştirilmiş bir direk ya da engel üzerindeki noktasal ölçümler sayesinde belirlemişlerdir. Çığ dinamiği ile ilgili doğal ölçümler, farklı çığ tiplerini tanımlamak açısından referans değerleri olarak kullanılmaktadır. Fakat göz önünde bulundurulması gereken bir konu, arazide yapılan deneyler çığ hattı üzerindeki oldukça sınırlı sayıdaki ölçüm aletleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında yapılacak analizlerden elde edilecek çığa ait kar derinlikleri, çığ hızları, basınçları ve durma mesafeleri literatürdeki elde edilmiş ölçüm aralıkları ile birlikte değerlendirilecektir.

Çığ, matematiksel modelleme konusunda ilk çalışmalardan birisini gerçekleştiren Voellmy (1955) tarafından, hızı yaklaşık 10 m/s'lik laminer akımda ya da kayan bir blok gibi hareketine başlayan ve sonrasında karmaşık bir çalkantı ile türbülanslı harekete geçiş yapan bir form olarak tanımlanmaktadır. Kern ve diğerleri (2009) tarafından gerçekleştirilen çığın zamana bağlı hız ve akım derinliği ölçümleri, temel hareket modeli ve çığın "fizyolojik" yapısı hakkında iyi bir fikir vermektedir. Çığ hattı boyunca çığ kütlesinin ön yüzü, büyük orta bölümü ve arkasındaki (kuyruk) hızlar farklıdır. Her bir bölümde farklı hız profilleri mevcuttur.

Çığın ön yüzünde, akım kesitindeki en yüksek hızlar (Şekil 2 ve Tablo 2) gözlenir. Bununla birlikte normal akım (eğimli araziye dik yönde kaydedilen) hız profili oldukça değişken ve karmaşık olup bu durum Şekil 2b'de gösterilmiştir. Çığın orta (büyük) bölümünde hız, açık

kanal akımındaki suya benzer tipik bir kayma hız profili ile karakterize edilebilir. Yani zeminden itibaren yükseklik arttıkça hızda artmaktadır. Kaymayan bir kar tabakası ile kayan çığ kütlesi arasındaki yüzeyde, taban hızı v≠0 olan kayan bir tabakanın varlığının ölçümlerle tespiti kolay değildir.



Şekil 2. Vallée de la Sionne (İsviçre) ölçüm alanından alınan bir çığa ait hız zaman serileri (a):Tüm çığ boyunca;(b): çığın ön yüzü; (c): Çığın orta büyük kütlesi; (d) Çığ arkası (*u*: Çığın ön hızı, *t*: zaman) Kern ve diğerleri (2010)

Tablo 2. Çığ hızlarının büyüklükleri (Amt der Tiroler Landesregierung/Office of Tyrolean Government (1996)

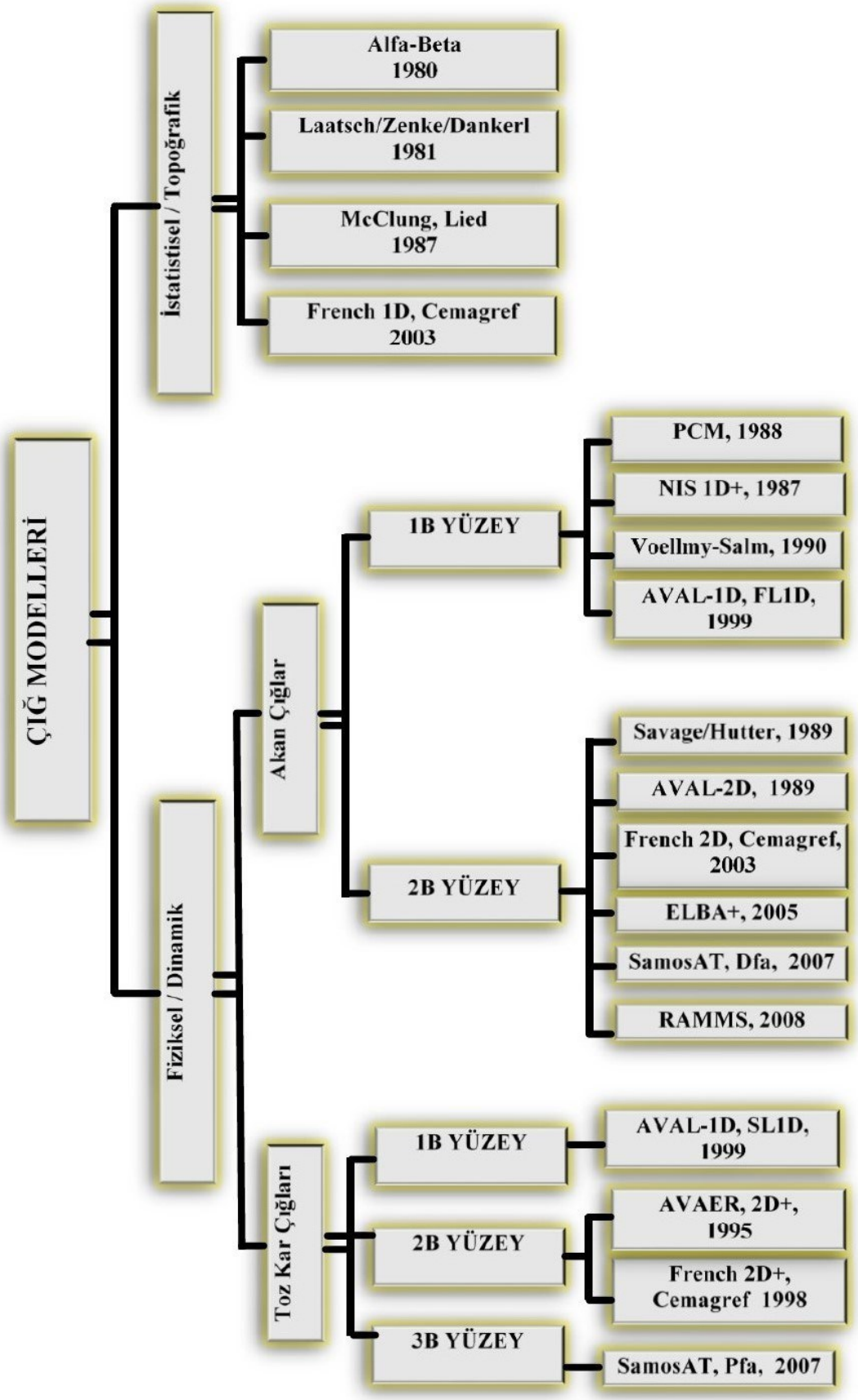
Çığ tipi	**Hız (m/s)**
Islak akan çığlar	10-20
Kuru akan çığlar	20-40
Toz kar çığları	30-70

Davos'ta, SLF araştırma merkezi laboratuvarlarından kar kaydırma patikasında yapılan deneylerde bazal kayma ve bazal kayma tabakasının paralel olarak yükseldiği görülmüştür (Tiefenbacher ve Kern, 2004) (Şekil 2c).

Çığın arka (kuyruk) bölümü, birçok durum için akımda kaymanın kaybolduğu ya da zayıfladığı durumla karakterize edilmektedir. Bu bölgede kar, çok ince bir kayma tabakası üzerinde blok şeklinde ya da bir kaya (zemin) üzerinde doğrudan kaymaktadır. (Şekil 2d). Bu bölgede durumlar arası geçiş görülmektedir. Ölçülmüş hız profilleri, matematiksel modellerin üretilmesi ve fiziksel sonuçlarla uyumu açısından çığ akımının dinamiğini belirlemede kullanılan sürtünme ya da enerji kayıpları ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır (Kern ve diğerleri, 2004).

Çığ benzeşimi alanındaki gelişmeler Avrupa için çığ modellemesi, haritalaması ve uyarı sistemleri projesi (SAME) kapsamında incelenmiş ve Harbitz (1998) tarafından özetlenmiştir. Bu alandaki gelişmeleri özetleyen bir diğer çalışma ise Granig ve Margreth (2015) tarafından gerçekleştirilmiş ve özet bir çığ model sınıflandırılması Şekil 3'te verilmiştir. Bu sınıflandırmada hesap modelleri istatistiksel/topografik ve fiziksel/dinamik olarak iki ana grupta incelenmiştir. Ayrıca çığ tipine göre modeller sınıflandırmaya dahil edilmiştir. (Naaim ve Ancey,1992; Naaim, 1998; Norem ve diğerleri, 1987; Norem ve diğerleri,1989).

Şekil 3'te verilen dinamik modellerin büyük bir bölümü Voellmy-akışkanı, Chezy sürtünme terimi ve Coulomb tipi kuru sürtünme değerlerini dikkate alarak oluşturulmuş modellerdir. Sonraki gelişmeler; Voellmy-Salm modeli (Salm ve diğerleri, 1990), kütle merkezi modeli olan PCM modeli (Perla ve diğerleri, 1980), birçok ülkede kullanılan, bir boyutlu granüler malzeme ve sayısal çözüm modeli olan AVAL-1D (Christen ve diğerleri, 2002), iki boyutlu benzeşim modeli ELBA (Volk ve Kleemayr, 1999), (Volk, 2005) (Şu anda ELBA+ olarak sürümdedir) sıralanabilir. ELBA+ modelinin avantajı özel olarak bir çığ hattının tanımlanmasına gerek duymamasıdır. Çünkü model, üç boyutlu sayısal arazi yüzeyini kullanarak muhtemel çığ hareketi oluşacak patikalara kendisi karar verebilmektedir. Avusturya'da 1999 yılında oluşan büyük çığlar sonrasında üç boyutlu modellerin (örneğin SAMOS 99'un) gelişimi için büyük çaba gösterilmiştir. SAMOS 99 Modeli hem ıslak hem de toz çığ hesaplarını yapabilmektedir (Sailer ve diğerleri, 2008). 2008 yılından itibaren SamosAT (Oberndorfer ve Granig, 2007;Sampl, 2007) modeli kullanıma uygun hale getirilmiştir. 2010'da yapılan bir ekleme ile çığ içerisindeki askıdaki malzemeyi (Jörg ve diğerleri, 2010) ve 2013 yılından itibaren akan kütle içerisine eklenen kar kütle miktarlarını da dikkate alır duruma getirilmiştir (Granig ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. Çığ modellerinin genel sınıflandırılması (Granig ve Margreth, 2015)

SLF tarafından İsviçre'de geliştirilen RAMMS sayısal modeli 2005 yılından itibaren kullanıma başlanmıştır. Aynı model içerisine çığ hesaplamalarına ek olarak üç boyutlu topoğrafyada toprak kayması ve kaya düşmesi modülleri eklenmiştir. Bu tür modeller özellikle durma mesafesi hesaplaması için sadece Avrupa'da değil diğer ülkelerde de geliştirilmektedir. Örneğin Kitahara ve diğerleri (1991) Japonya için bir model geliştirmiştir; Grigorian ve Ostroumov (1977), Harbitz (1998) tarafından geliştirilen *MSU-dense* isimli model ise Rusya'da oluşan çığların simülasyonlarını gerçekleştirmek için hazırlanmıştır.

Çığın hareketini bilgisayar modelleri ile çözümleyerek hareketin görsel benzeşimini yine bilgisayarlarda gerçekleştirmek amacıyla literatürde oldukça fazla sayıda çalışma mevcuttur. Avrupa'da geliştirilen ve öne çıkan önemli sayısal modeller burada açıklanmıştır.

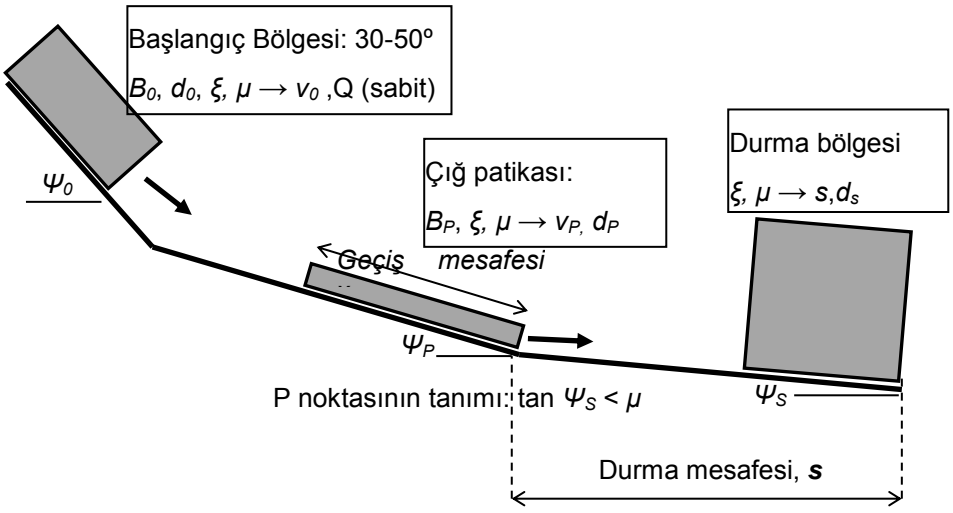
2.1.1 Voellmy-Salm Modeli

1951 ve 1954 yıllarında İsviçre'de yaşanan büyük çığ afetleri sonrası Voellmy (1955) İsviçre'nin ilk çığ modeli olan ve Voellmy modeli olarak bilinen çığ modelini geliştirmiştir. Voellmy, 1954 yılında Vorarlberg'te oluşan bir çığ olayının verdiği zararları yeniden hesaplarken ilk kez Chezy sürtünmesi ve Coulomb tipi kuru sürtünme değerlerini de içeren hidrolik kuralları kullanmıştır. Salm, 1966 yılında, Voellmy modelini geliştirerek içsel sürtünme etkisini ve aktif-pasif akım şartlarını model içerisine yerleştirmiştir. Voellmy-Salm ismi ile anılan bu yeni model, çığın kütle merkezinin dikkate alındığı ve çığ hareketinin basitleştirildiği bir blok model olarak tanımlanmıştır (Salm, 2004).

Tablo 3. Voellmy-Salm modelinde kullanılan sürtünme parametrelerine genel bakış (WSL, 1990)

Sürtünme parametreleri		Tanımlama
μ	Kuru sürtünme	Yere dik düzlemde basınç ve kar özelliklerine bağlıdır. Büyük çığlar için ($>10^5$ m^3) 1300 m'den yüksek kesimlerde ve akım derinliğinin 1- 2 m olduğu durumlarda μ=0.155 önerilir. Islak kar çığları μ=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 ξ=1000 m/s^2 önerilir. Daha yoğun kanallaşma veya ormanda ξ=400 m/s^2 alınır. (ξ) parametresi hız değerine oldukça bağlıdır.



Şekil 4. Voellmy-Salm modelinin şematik gösterimi (Margreth, 2015)

1990'da İsviçre'de bulunan WSL Çığ Araştırma Merkezi (Institude for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, İsviçre) tarafından hazırlanan Voellmy-Salm modelinin kullanım kılavuzunun yayınlanmasıyla, model birçok pratik durum için uygulanmıştır. Sayısal çığ hesaplama modeli AVAL-1D'nin geliştirilmesine kadar Voellmy-Salm modeli yaygın olarak durma mesafesi ve çığ basınçlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Voellmy-Salm modelinde çığın başlangıç, hızlanma ve durma bölgelerinin nasıl tanımlandığı Şekil 4'te çizilen bir çığ hattı boyunca gösterilmiştir. Ayrıca bu modelin en önemli iki parametresi; kuru sürtünme (μ) ve türbülanslı sürtünme (ξ) değerleri ile ilgili genel tanımlamalar Tablo 3'te verilmiştir. Voellmy-Salm modelinde, durma bölgesi hariç, bir noktada yoğunlaşan kütlenin hareketi olduğu ve başlangıç bölgesinden kopan *Q* çığ debisinin, çığ hattı boyunca değişmediği kabul edilir (Şekil 4). Başlangıç bölgesindeki ilk hız v_0 ve debi *Q* değerleri

$$v_0 = \sqrt{d_0 \cdot \xi \cdot (\sin\psi_0 - \mu \cdot \cos\psi_0)} \quad (1)$$

$$Q = B_0 \cdot d_0 \cdot v_0 \quad (2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

B_0 Kırılma genişliği (m)

Ψ_0 Başlangıç bölgesi eğimi (º) (Şekil 4)

d_0 Kopma (Kırılma) derinliği (m)

v_0 Başlangıç bölgesinde ilk çığ hızı (m/s)

ξ, μ Sürtünme parametreleri (Tablo 3) olarak tanımlanmıştır.

Şekil 4'te gösterilen ve durma bölgesinin başlangıç noktasını temsil eden ***P*** noktasında v_P hızı ve d_P akım derinliği hesaplanır. Durma bölgesine girildiğinin anlaşılması için ***P*** noktasının mansabında, Ψ_S durma bölgesinin aşağıda verilen şartı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir:

$$\tan \psi_s < \mu \tag{3}$$

P noktasında arazi eğim açısı Ψ_P'ye bağlı olarak v_p hızı hesaplanır. ***P*** noktası 100-200 m civarında olduğu kabul edilen bir geçiş bölgesidir. ***P*** noktasındaki genişliğe (B_P) bağlı olarak hız:

$$v_P = \left[\frac{Q}{B_P} \cdot \xi \cdot (\sin\psi_0 - \mu \cdot \cos\psi_0) \right]^{1/3} \tag{4}$$

şeklinde hesaplanır. Akım derinliği d_p ise süreklilik denklemi kullanılarak:

$$d_P = \frac{Q}{B_P \cdot v_P} \tag{5}$$

elde edilir. ***P*** noktasından itibaren ölçülen durma mesafesi (***s)*** uzunluğu:

$$s = \frac{d_s \cdot \xi}{2 \cdot g} \cdot \ln\left[1 + \frac{v_P^2}{V^2} \right] \tag{6}$$

eşitliği sayesinde belirlenir. Bu bölgede ortalama birikmiş kar derinliği (***d_s***)

$$d_S = d_P + \frac{{v_P}^2}{10 \cdot g} \tag{7}$$

İfadesi ile bulunur ve durma bölgesinde ortalama çığ hızı,

$$V^2 = d_S \cdot \xi \cdot (\mu \cdot \cos\psi_S - \sin\psi_S) \tag{8}$$

şeklinde hesaplanır. Kullanılan bu formüllerde:

Ψ_s durma bölgesinde ortalama arazi eğimi (º)

g yerçekimi ivmesi (sabit olup değeri 9.81 m/sn^2 olarak alınmaktadır.)

d_P çığ patikası üzerinde ***P*** noktasında akım derinliği (m)

v_P ***P*** noktasında çığ hızı (m/s)

V çığ durma bölgesinde ortalama hız değeri (m/s) olarak tanımlanmıştır.

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

2.1.2 AVAL-1D Modeli

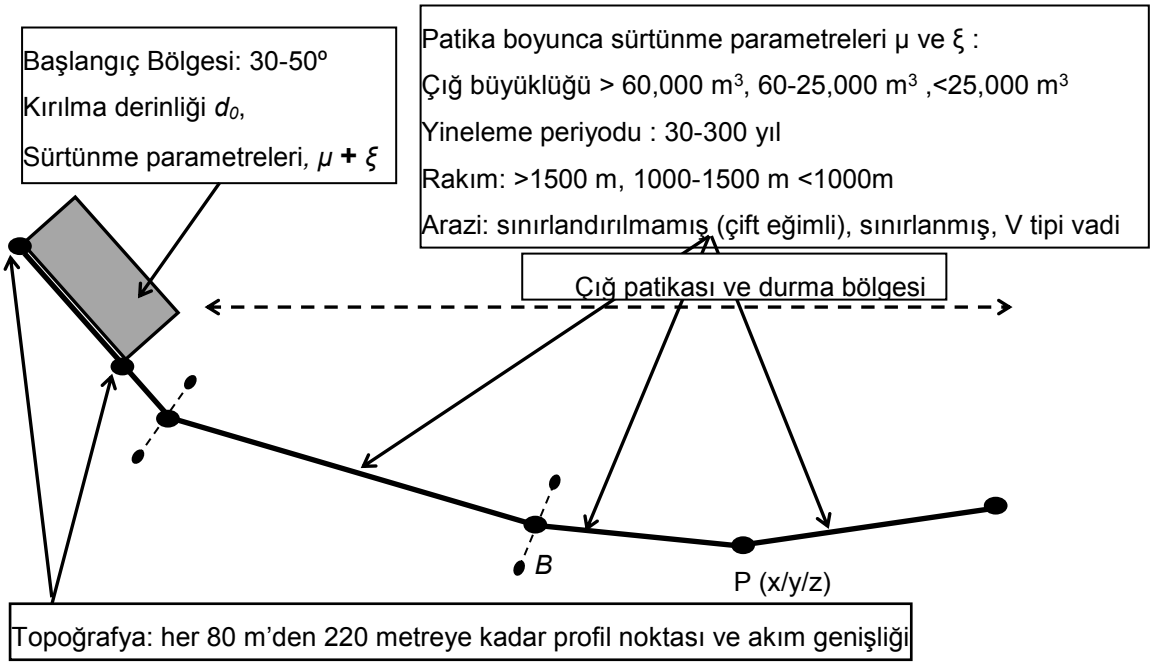
AVAL-1D, Voellmy-Salm Modelinin sayısal uyarlamasıdır. Çığ kütlesinin hesaplamalara dahil edilerek gerçek topoğrafya üzerinde model performansının belirlenmesi büyük bir gelişim olarak kaydedilmiştir. Modelde iki bağımsız hesaplama bölümü mevcuttur. FL-1D kütle (ıslak) çığları için SL-2D ise toz çığlar için kullanılan modüllerdir. Her iki modül de kütle, enerji ve momentum denklemlerini oluşturan diferansiyel denklemlerin sonlu farklar yöntemi ile çözümlenmesini içermektedir. AVAL-1D WSL tarafından geliştirilmiş olup birçok ülkede uygulanmıştır.

FL-1D, Voellmy akışkan malzemesi üzerinde bir boyutlu olarak çalışan sayısal modeldir. Modelde akan kar sabit yoğunluğa sahip akışkan olarak tanımlanmıştır. Programda akım hızı derinlik boyunca sabit, akım yüksekliği ise kanal genişliği boyunca sabit olarak kabul edilmiştir. Modelde, çığ hareketi boyunca kütlenin korunduğu ve muhtemel birikimlerin ihmal edildiği varsayılmıştır. Burada akıma karşı direnç üç parametre ile tanımlanmıştır. Bunlar; kuru sürtünme (μ), türbülans kaynaklı sürtünme (ξ) ve karın içsel deformasyonlarıdır (λ). Programda gerekli girdi verilerinin şematik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir. AVAL-1D programında tüm akım hattı boyunca sürekli bir şekilde akım yüksekliği, hız ve basınç değerlerini sağlamaktadır. Ayrıca durma mesafesi ve depolanan kar kütlesi miktarı da program çıktıları arasındadır.

Modelleme açısından, kopan çığ kütlesinin durma bölgesi uzunluğu üzerinde önemli etkisi vardır. Bu durum başlangıç bölgesinde planlanacak destekleme yapılarını da etkiler. Örneğin modelde kar miktarındaki artış dikkate alınmazsa hesaplanacak birikmiş kar yüksekliği çok küçük değerlerde kalabilir. Voellmy-Salm Modeli ile karşılaştırıldığında hesaplanan hızlar daha yüksek ve böylece daha gerçekçi olmaktadır. Model merkezcil kuvvet etkilerini dikkate

almadığından özellikle yüksek mendereslilige sahip çığ hatlarında dikkatli olunması gerektiği özellikle çığ barajlarının projelendirilmesinde kullanımının uygun olmadığı belirtilmektedir.

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



Şekil 5. AVAL-1D Modeli ve FL-1D için girdi parametreleri (WSL, 1999)

Genellikle sayısal model çalışmalarında tek bir çığ patikası üzerinde akımın dinamik özellikleri belirlenmeye çalışılır. Fakat Gruber ve Bartelt (2007) birden fazla patikayı içeren büyük alanlarda tehlike durumunu belirlemek amacıyla sayısal modelleri kullanmıştır. Bu çalışmada derinlik ortalamalı akım denklemlerinin çözümünün yanısıra istatistiksel ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı yöntemleri uygulamıştır. Özellikle CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı yöntemleri çığ başlangıç bölgesindeki kopma alanlarını tanımlamak için kullanmışlardır. Çok büyük çığlar için denizden olan yüksekliğe, çığ büyüklüğüne ve topoğrafyaya bağlı olarak değişen sürtünme katsayıları tartışılmıştır. Kullanılan sayısal model ise AVAL-1D'dir.

Jamieson ve diğerleri (2008) kar çığları açısından tehlike haritalarının hazırlanması çalışmalarında dinamik modellerin uygulamaları ve uygulama limitleri konusunda çalışmışlardır. Dinamik modellerin 1950'li yıllardan bu yana kullanıldığı, modellerde sürtünme değerlerinin doğrudan ölçülemediği bu nedenle olmuş büyük çığlardan elde edilen veriler ile bu değerlerin doğrulandığı belirtilmiştir. Genellikle istatistiksel çalışmaların durma mesafesi tahmininde daha güvenilir sonuçlar ürettiği bunun nedeninin dinamik modellerde sürtünme parametrelerinin, çığın kopma bölgesinin, kopma derinliğinin doğru olarak tahmin edilememesi nedeniyle daha az güvenilir sonuçlar üretebildiği vurgulanmıştır. Fakat senaryo çalışmaları yapılması açısından dinamik modellerin çok önemli olduğu istatistiksel çalışmalar, tarihsel kayıtlar, orman tahribatı ve ağaçlardaki zararlar dinamik modellerdeki zayıflıkları giderebilecek çalışmalar olarak özetlenmiştir. Çalışmadaki örnekler AVAL-1D programı kullanılarak uygulanmıştır.

Oller ve diğerleri (2010) AVAL-1D sayısal çığ programını İsviçre'de bir alana uygulamışlardır. İsviçre Alplerinden elde edilen deneyimler ile kullanılan sürtünme değerleri bu saha üzerinde program ile birlikte tekrar sınanmıştır. Bunun için 12 adet eski çığ verisi kullanılmıştır. Simülasyonu gerçekleştirilen saha için oldukça iyi sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir.

2.1.3 RAMMS Modeli

İki boyutlu çığ hesaplama modeli olan RAMMS (RApid Mass MovementS - hızlı hareket eden kütle sistemi) WSL (Institude for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, İsviçre) tarafından geliştirilmiş bir boyutlu sayısal model AVAL 1-D'nin devamı niteliğindedir. WSL tarafından 2005 yılında geliştirilmeye başlamış olup ticari olarak 2010 yılından itibaren kullanılmaktadır. Programda hız vektörü üç boyutlu arazi üzerinde iki yönde hesaplanmakta, ayrıca akım yönü ve çığ genişliği model tarafından belirlenmektedir. Hesaplamada kullanılan çözüm ağı sayısal arazi modeli üzerinden yaratılabilmektedir.

Model çığ kütlesi içerisinde içsel deformasyonların oluşmadığı kabulü ile geliştirilmiştir. Modelde sürtünme kuvvetlerinin kayan katman ile taban arasında oluştuğu düşünülmüştür. Modelde kullanılan μ ve ξ sürtünme değerleri, Coulomb'un kuru sürtünme ve hıza bağlı sürtünme direncinin oranlarını ifade etmektedir. İki sürtünme direnci de çığın büyüklüğüne bağlıdır. Voellmy-Salm Modelinde olduğu gibi bazal direnç, Coulomb sürtünme teriminin normal kuvvetlere oranı olarak ifade edilmiş, türbülans sürtünme terimi ise hızın karesi ile orantılı olduğu varsayılmıştır. Geometrisi karmaşık arazi üzerinde çığ akışını simgeleyen sığ-su diferansiyel denklemlerini çözmek için sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır. Model, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) sistemleri ile uyumlu çalışmakta ve çığ başlama bölgesinin bir girdi

parametresi olarak sağlanması ile arazideki sürtünme parametrelerini tahmin edebilmektedir (Christen ve diğerleri, 2008).

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

RAMMS'ın çok karmaşık arazi durumunda akımın takibini belirlemek açısından oldukça kullanışlı bir araç olduğu önceki deneyimler göstermiştir. Ayrıca bu model sayesinde Voellmy-Salm ya da AVAL-1D ile kıyaslandığında başlangıç bölgesi yerinin seçimi ve tanımlanmasının ne kadar önemli olduğu gösterilmiştir. Hesaplamalar için arazi modelinin kalitesi (çözünürlüğü) önemlidir. Çünkü küçük dereler kış mevsiminde kar ile dolarak çığ sapmalarının belirlenmesinde yanlış yönlendirmelere neden olabilmektedir. Bu proje çalışmasında çözünürlük ile ilgili elde edilen sonuçlar raporun ilgili bölümünde verilmiştir.

Casteller ve diğerleri (2008), 1 Eylül 2002 yılında Arjantin'in Kuzey Patagonya bölgesinde bulunan Cerro Ventana vadisinde yaşanan büyük çığ felaketi AVAL-1D ve RAMMS dinamik çığ programları kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Gözlemler ve ağaç gövdelerinden elde edilen bilgiler ile doğrulanan model, düşük çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik haritaları kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışma bölgesel özelliklerin kullanılana model ile uyumluluğunu göstermek ve orman örtüsündeki ağaçların geçmiş çığların özelliklerini belirlemek açısından oldukça faydalı olduğu belirtilmektedir.

Christen ve diğerleri (2008) tarafından RAMMS dinamik programının üç boyutlu arazi ile birlikte kullanımı anlatılmıştır. İsviçre'de Klosters/Monbiel yakınlarında bulunan ve Nisan 2008'de meydana gelen Gatschiefer çığının bir dinamik analizi yapılmıştır. Modelin, çığ benzeşimini oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Christen ve diğerleri (2010), bir başka çalışmada yine RAMMS sayısal model uygulamalarını gerçek arazi üzerinde örnekleri ile sunmuşlardır. Çalışmada özellikle vurgulanan programın kullanımının çığ mühendislik uygulamaları açısından oldukça pratik ve yararlı olduğudur. RAMMS modelinde kar örtüsünde oluşan erozyon ve depolanmalar dikkate alınmıştır. Model, başlangıç bölgesinin sayısallaştırılmış arazi üzerinde üç boyutlu olarak tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Modelde iki farklı akım yaklaşımı uygulanabilmektedir. Bunlar *Voellmy-Salm(VS)* ve *Rastgele Kinetik Enerji(RKE)* yaklaşımlarıdır. Model sonuçları iki adet gerçek çığ ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ölçümlerle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu program bu çalışma kapsamında da kullanılacak olan programdır.

Fischer ve diğerleri (2012) RAMMS programında topografyadaki eğrilik etkisini araştırmışlardır. RAMMS modelinde sürtünme parametrelerinin doğrulanmasında çığ hattının özelliklerine bağlı değişim göz önünde tutulmaktadır. Modelde topografyadaki eğrilik etkisi dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada hem matematiksel hem de fiziksel açıdan eğrilik etkisi dikkate alınmıştır. Buna göre, hıza bağlı sürtünme terimi ayrıştırılarak, eğriliği dikkate alan topoğrafyaya bağlı Coulomb tipi sürtünme terimi ve Voellmy direnç katsayısına benzer topoğrafyadan bağımsız bir sürtünme terimi ayrı ayrı düşünülmüştür. Uygulama sahası için önerilen üç adet modelden elde edilen sürtünme değerleri kıyaslanarak, eğrilik etkisinin akım dinamiği üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir.

Hussin ve diğerleri (2012) RAMMS modelini Fransız Alplerindeki çığ hatlarına uygulamışlardır. Makalede çığ esnasında çığa katılan karın sayısal olarak modellenmesi için erozyon ve depolama sürecinin modelde nasıl etki edilebileceği tartışılmıştır. RAMMS modelindeki bazı kabuller, örneğin Voellmy sıvısı ve tek fazlı (akışkan) olması, tetikleme hacmini tek yerden ve blok olarak kabul edilmesi gibi kabuller, modeldeki kısıtlamalar olarak görülmektedir. Yoğun yağış sonrası kanalize olmuş bir çığ için başlangıç koşullarının bir hidrograf ile belirlenmesi daha doğru bir yaklaşım olarak önerilmiştir. Ayrıca RAMMS'ın kullanımında erozyonun iki sabit kar yüksekliği için sabitlenmiş olması dikkatli kullanımını gerektirmektedir.

Deubelbeiss ve Graf (2013), Voellmy-Salm sürtünme parametrelerini kullanan ve iki boyutlu sığ-su denklemlerini granüler bir malzeme yaklaşımı ile çözen RAMMS sayısal modelini İsviçre'de bulunan Dorfbach, Randa çığ patikasında uygulamışlardır. Çalışmanın ilk bölümünde aynı patikada oluşmuş önceki çığlardan elde edilen veriler ile Voellmy sürtünme katsayıları belirlenmiş, ikinci kısımda ise çığ başlangıç koşulları iki farklı durum için (tüm malzemenin aynı anda ivmelenmesi ve verilen hidrografa bağlı kontrollü olarak malzeme hareketi) bir noktada oluşan debi değişimi karşılaştırılmıştır. Sonuçlar blok şeklinde bırakılan çığlarda elde edilen kar yüksekliklerinin kontrollü olarak bir hidrografa göre bırakılan çığlara göre çok büyük olduğu göstermiştir. Bu nedenle yaklaşık hacmi 5000 m^3 ve kırılma derinliği 0.32 m olan küçük bir çığ üzerinde her iki başlangıç koşulu için denemeler gerçekleştirilmiş, sonuçta verilen bir hidrograf ile elde edilen başlangıç koşullarının özellikle kanallaşmış bir vadi türü için blok kırılma koşuluna göre daha gerçekçi sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir.

2.1.4 SamosAT Modeli

SamosAT modeli 22 adet referans çığ verisi kullanılarak kalibre edilmiş bir modeldir. Avusturya Çığ Önleme Servisi tarafından 2007 yılından itibaren kullanılmaktadır. Modelde Savage-Hutter Modelinin revize edilmiş hali kullanılmaktadır. Aynı zamanda Voellmy yaklaşımı ile bağıntılıdır. Patika boyunca değişebilir sürtünme katsayıları kullanılmıştır. Modelde temel olarak sığ-su

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

$$\tau^{(b)} = \tau_0 + \tan\delta \cdot \left(1 + \frac{R_s^0}{R_s^0 + R_s}\right) \cdot \sigma^{(b)} + \frac{\overline{\rho} \cdot \overline{u}^2}{\left(\frac{1}{\kappa} \ln \frac{\overline{h}}{R} + B\right)^2} \tag{9}$$

Bu denklemde;

τ_0 Minimum kayma gerilmesi (N/m^2)

$\tan\delta$ Yatak sürtünme açısının tanjantı (º)

R_s^0 Yatak sürtünme yüksekliği

$\sigma^{(b)}$ Normal gerilme (N/m^2)

$\overline{\rho}$ Akım yoğunluğu (kg/m^3)

$\overline{u}$ Akım hızı (m/s)

$\overline{h}$ Akım yüksekliği (m)

B Boyutsuz katsayı (Prandl sınır tabakası)

κ Von Karman katsayısı

R_s Pürüzlülük katsayısıdır.

Model toz çığ durumu için de çalıştırılabilmektedir. Model hem ıslak hem de toz çığ durumunu birlikte değerlendirebilmektedir. Bu model bu çalışma kapsamında kullanılmamıştır.

Gerçek çığlardan alınan ölçümler, model doğrulaması için kullanılan çok değerli ölçümlerdir. Bu nedenle çığ öncesinde tahmin amaçlı toplanan ölçümlerin yanısıra oluşmuş çığlara ait özellikle hız, basınç, kar yüksekliği ve durma mesafesi (durma noktası) gibi veriler model geliştirilmesi ve doğrulanması açısından oldukça önemlidir. Bu bölümde literatürde bu konuda yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

2.2 Çığ Verilerinin Modellemede Kullanımı

Bu amaçla Takeuchi ve diğerleri (2003) Japonya'da bulunan Makunosawa vadisinde aynı patikada farklı zamanlarda oluşmuş çığlardan aldıkları ölçümlerle kuru çığlarda ortalama hızı

43 m/s, ıslak çığlarda ise ortalama hızı 20 m/s olarak belirlemişlerdir. Kuru (toz) çığ hız değerleri, hareket esnasında yer kabuğunda oluşan hassas değişimlerin ölçümlerinden faydalanılarak (geophone) elde edilmiştir. Islak çığlarda ise video görüntülerinden faydalanılmıştır. Bu çalışmada Voellmy sürtünme katsayılarının deneysel çalışmalarla uyumluluğunun tespiti için ek araştırmalar yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Salm (2004), çalışmasında 1930'lu yıllarda Sovyetler Birliği'nde başlayan dinamik modelleme çalışmalarının 2000'li yıllara kadar nasıl bir gelişim gösterdiğini özetleyerek çığ ölçümlerinin kalitesi ve çeşitliliğinin önemini vurgulamıştır. Burada aynı vadiden sürekli alınan çığ ölçümlerinden çıkarılacak sonuçların genel durumu yansıtmayacağını belirtilmiştir. Salm, Coulomb tipi kuru sürtünme faktörü (μ) ve açık kanallarda kullanılan Chezy direnç katsayısına benzer, hızın karesinin bir fonksiyonu olan türbülans kaynaklı sürtünme (ξ) faktörünün kombinasyonunu, "Voellmy sıvısı" olarak adlandırmış ve bu sürtünme parametrelerinin halen araştırma konusu olmaya devam ettiğini belirtmiştir. Bu konu ile ilgili detaylı araştırma Ancey ve diğerleri (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ülkemiz koşulları için bu katsayı değişimleri ve etkileri Koçyiğit ve Gürer (2007) tarafından ayrıca incelenmiş, ülkemizdeki çığ ile ilgili ölçümlerin yetersizliği bu çalışmada bir kez daha vurgulanmıştır.

Çığ verilerinin farklı modelleme düşünceleri açısından da önemi büyüktür. Örneğin Rice ve Decker (2005) çığ hareketinde kısa süreli hız ve basınç etkisi yaratan dalgaların oluştuğunu ve bu olayın Voellmy-Salm modeli ile veya yavaş değişen akım prensiplerinin kullanılmasıyla elde edilemeyeceğini savunmuştur. Bunun için sahadan elde edilen çığ verilerini kullanmışlardır. Fakat çığ akımı içerisinde oluşan dalga formunun üretilmesi ve çığ verilerinin yeterince elde edilememesi nedenleriyle modelinin doğrulanması konusunda sorun yaşamıştır. Çalışma model doğrulaması açısından gerçek çığ durumunda elde edilecek verilerin önemini bir kez daha vurgulamıştır.

Gauer (2014), çığ tehlike bölgelerinin tespiti veya zarar azaltma tedbirlerinin planlanması için güzergâh boyunca çığın durma mesafesi bilgisinden başka o güzergâh boyunca çığın şiddeti bilgisine de sıklıkla ihtiyaç duyulduğunu söylemektedir. Çığ önü hızları beklenen çarpma basınçları ile ilişkilendirilebildiklerinden yaygın olarak bir tür şiddet ölçüsüdür. Ayrıca çığın hızı ve yönü, çığın olağan rotasında mı kalacağı yoksa güzergâhından beklenmedik şekilde saparak güvenli olduğuna inanılan alanları tehlikeye atıp/atmayacağını belirler. Dolayısıyla beklenen hızların güvenilir olarak tahmini oldukça önemlidir. Oysa yaygın modellerin çoğu ya hızları düşük tahmin etmekte ya da durma mesafelerini fazla tahmin etmektedir. Bu çalışmada, Ryggfonn test sahasından elde edilen çığ önü hızlarının bir kaçı sunulmuştur. Ölçümler başlıca kuru- karışık çığların fotoğraf ve/veya video analizlerinden türetilmiştir. Bu gözlemlerin bazıları kısmen doppler radar ölçümleri ile desteklenmiştir. İlave olarak daha geniş spektrumlu çığ durumlarını elde etmek için Ryyggfonn test alanından elde edilen ölçümler, diğer yerlerden

elde edilerek yayınlanan hız ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu hızların analiz edilmesi ile çığ akımlarının olası akış modelleri için kısıtlar (sınır şartları) elde edilmiştir. Burada sunulan çığların ölçümleri ki bunlar kendi güzergâhları için görece olarak büyük ve kuru karışık çığ olarak sınıflandırılabilecek çığlardır, çığın hızının taban sürtünmesine bağımlılığının genel olarak tahmin edilenden daha az olduğunu göstermiştir. Ölçümler ayrıca bu çığların maksimum çığ önü hızları, çığ önü hızlarının toplam düşme yüksekliğinin (HSC) karekökü ile orantılı olup maksimum hız UM α $\sqrt{H_{SC}}$ olduğunu göstermiştir.

2.3 Farklı Sayısal Model Yaklaşımları

Çığ sayısal model çalışmaları 1980'li yıllarda başlamış geliştirilen birçok farklı yaklaşımlarla birlikte günümüze kadar devam etmiştir. Literatürde çözüm yaklaşımı olarak klasik modellerden farklı öneriler sunan modellerden bazıları bu bölümde anlatılmıştır.

Perla ve diğerleri (1980) yaptıkları sayısal model ile gözlemlenmiş çığları kullanarak sürtünme katsayıları μ ve M/DY için farklı sonuçlar elde etmiştir. Hız ölçümler varolan bir test çığı için Y≅1000 m ve V_{max}=60 m/s olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte çığ çalışmalarında kullanılabilecek en uygun değerlerin μ=0,29 ve M/DY=0,5 olduğu sonucuna varmıştır.

Brugnot ve Pochat (1981), mühendislerin rahatlıkla kullanabilecekleri bir araç sunabilmek için çığ hesabı yapan bir program geliştirilmiştir. Matematiksel modelin ve kabullerin kısa bir tanımından sonra fiziksel ve sayısal parametrelerinin etkileri tanımlanmıştır. Hesaplamalar ve gözlemler arasındaki tutarlı sonuçlar sunulan modelin iyi olarak kurulduğunu göstermiştir.

Lang ve Leo (1994) üç boyutlu bir çığ modeli çalışmasını rapor olarak A.B.D Askeri Mühendislik Birimine (US, Army Corps of Engineers) sunmuşlardır. Arazi kullanımı açısından sayısal modellerin önemini vurgulayan rapor, araziden gerçek zamanlama ile ölçüm alınmasının oldukça zor olduğunu vurgulamaktadır. Bu nedenle çalışmada derinlik ortalamalı olarak elde edilen eşitliklerin Lagrangian (çözüm ağı ile birlikte hareket eden koordinat sitemi) tanımlamalı sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözümü amaçlanmıştır. Sonuçlar laboratuvar ölçümleri ile kıyaslanmıştır.

Arattano ve Savage (1994) çalışmalarında moloz (debris) akımlarının hareketi için kinematik dalga teorisi temelinde bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu model, 1981 yılında ABD Washington Eyaletindeki St. Helen dağında meydana gelen 2 adet çamur akışına ait verilere uygulanmıştır. Orijinal hali ile açık kanallardaki su akımı için geliştirilen modeli temel alan bu model saha verileri ile iyi bir uyum göstermiştir.

Mangeney ve diğerleri (2000) bir-boyutlu baraj yıkılması test durumunun çözümü için analitik çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Bu test, çığ çalışmalarında sayısal modelin ön-testleri için kullanılan bir uygulamadır. Bu testte bir baraj arkasındaki akışkan aniden baraj gövdesinin

serbest bırakılmasıyla membadan mansaba doğru ani olarak hareketini içerir. Bu çalışmada bir-boyutlu bir deneme gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan sayısal ve analitik çözümün uyumlu olduğu belirtilmektedir.

Sartoris ve Bartelt (2000) çığ hızı ve akım yüksekliğini idare eden zamana göre birinci dereceden hiperbolik denklem takımını ileri sonlu farklar ve TVD yöntemlerini kullanarak bir-boyutlu durum için çözmüştür. Sonra model gerçek durum için sınanmıştır. Diferansiyel denklemin sayısal çözüme geçilmesi için önerilen yöntemde dışarıdan yapay sönümlemeye ihtiyaç duyulmadığı belirtilmiştir. Sonuçlar hem laboratuvar hem de arazi ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

Blagovechshenskiy ve diğerleri (2002), Eglit tarafından geliştirilen matematiksel modelin kalibrasyonunda Kazakistan'daki Zailiyskiy Aalatu dağındaki çığ bölgelerinden elde edilen verileri kullanmışlardır. Ampirik eşitlikler hidrolik sürtünme katsayısı (turbulent friction coefficient – k) ile kuru sürtünme katsayısının (dry friction coefficient - μ) çığın tipine ve hacmine bağlı olarak nasıl değiştiğini ortaya koymuştur.

Tai ve diğerleri (2002) granüle çığları özel bir sayısal (Shock-Capturing and Front Tracking Method) yöntem ile benzeşimini sağlamak istemişlerdir. Yöntem, yukarı yönlü şok dalgalarının hareketini, eğimli düzlem üzerinde parabolik başlığın hareketi ve bu parabolik şeklin düzlük alanda yavaşlama hareketi ve ani duruşu benzeştirmektedir.

Mangenet-Castelnau ve diğerleri (2003), sığ suların modellenmesi için kullanılan Saint-Venant eşitliklerini en/boy küçük orana sahip uzun dalga yaklaşımını da kullanarak çığın benzeşimini gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Bu model çalışmasında derinlik ortalamalı denklemler ile çalışılmıştır. Çığın, Coulomb tipi davranışa sahip tek tür kuru-granüler malzemeden oluştuğunu kabul etmişlerdir. Kurulan denklemler, çok küçük ölçekte sonlu elemanlar oluşturularak elde edilen çözüm ağı üzerinde kinetik tabanlı sonlu hacimler yöntemi uygulanarak çözülmüştür. Baraj yıkılmasına ait test durumları için geliştiriliş analitik çözümler ile model sonuçlarını karşılaştırmışlar ve özellikle devamsızlıkların görüldüğü alanlarda modelin iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Ayrıca basitleştirilmiş topoğrafya üzerinde model sınanmış ve sabit ya da değişken sürtünme değerleri denenmiştir.

Turnbull ve Bartelt (2003) toz ve akışkan karışımı kar çığının kütle dengesini hesaplamak için bir boyutlu derinlik ortalamalı model kullanılmıştır. Bu model üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; Yoğun akışkan çığ, toz bulutu ve türbülanslı akım. Karışık çığın dinamiği, bileşenleri arasındaki etkileşime kuvvetli olarak bağlıdır ve aynı zamanda kar örtüsüne, ortamı çevreleyen havaya ve özellikle de kar ile havadaki kütlenin yer değiştirmesine veya katılımına bağlıdır. Bu nedenle karışık çığları modellerken ilk önemli adım kütle değiş-tokuşunun doğasının temelini anlamaktır. Bu makalede, kütle ve momentum bünye denklemleri ile türbülans enerjisi kısaca

sunulmuştur. Sayısal simülasyonlar, gerçek çığ verileri mevcut olan Aulta, Galtür ve Vallee de la Sionne olmak üzere üç çığ güzergâhı için çalıştırılmıştır. Model çıktılarına dayanan sonuçlarla kütle değişimleri ile ilgili parametreler çizdirilmiştir. Tezatlık oluşturan bu üç çığ ile ilgili kütle dengeleri gösterilmiştir.

Naaim ve diğerleri (2003), kuru ve kohezyonsuz karlardan oluşan yoğun çığları dikkate almışlardır. Bu çalışmada momentum kaybını temsil etmek için yapılan taneli davranış araştırmaları üzerine son gelişmelerden türetilmiş etkin sürtünme kanunu kullanılmıştır. Basit bir aşındırma ve biriktirme modeli formüle edilmiş olup bu modelde aşındırılmış ve biriktirilmiş kütle akımı verilen eğim açısındaki başlangıç ve bitiş koşullarındaki bilgilerden tahmin edilmiştir. Sığ su hipotezi adapte edilmiş olup bu çalışmada yeni formülasyon olarak aşındırma ve biriktirme süreci dahil edilmiştir. Bu modelin her bir bileşeni analitik çözümler ve deneysel laboratuvar verileri ile test edilmiştir. Şubat 1999 tarihli Taconnaz çığ olayı bu modelin gerçek çığ ile test edilmesi için kullanılmıştır. Bu testlerin umut verici sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Étienne ve diğerleri (2004) dik eğimli arazide yoğun bulutlu toz çığların iki boyutlu Doğrudan Sayısal Benzeşim (Direct Numerical Simulation-DNS) yöntemi ile hesaplanması konusunu incelemiştir. Laboratuvar verileri ile sayısal model sonuçlarının uyumlu olduğu belirtilmektedir. Çığ denklemleri içerisinde kullanılan yoğunluk sabit değil değişken olarak kabul edilmiştir.

Rögnvaldsson ve diğerleri (2005) İzlanda'nın Doğusunda dağlık alanlarda oluşan şiddetli hava koşulları sayısal model çalışması ile belirlenmeye çalışılmıştır. Şiddetli rüzgâr, kar yağışı bölgesel dağılımı, rüzgâra bağlı belirli bölgelerde ani birikmeler göz önünde bulundurulan koşullardır. Bu koşullar neticesinde çığ ile birlikte oluşan birikim de iki saha için uygulanmıştır.

Gubler (2005) hazırladığı kılavuzda İsviçre çığlarının bir dinamik bilgisayar programı ile analizlerinde nelere dikkat edilmesi gerektiğini açıklamıştır. Kılavuzda model kabulleri, parametreleri, parametrelerin nasıl belirlenebileceği, modelin uygulama limitleri ve sonuçlarda dikkat edilmesi gereken başlıca konular açıklanmıştır.

De Toni ve Scotton (2005) granüle çığların dinamiği için iki-boyutlu matematiksel ve sayısal model sunmuşlardır. Önerilen model ile üzerinde çığ oluşan topoğrafya için başlangıç kütlesi, şekli ve hacmi verilen kar kütlesinin hareket başlangıcından durmasına kadar çığ hattı boyunca dinamik özellikler hesaplanmaktadır.

Sovilla ve diğerleri (2007), uygulamalı kar çığlarının dinamik hesaplarında kullanılan analitik ve sayısal modellerde çığ kütlesinin sabit kabul edildiğini yani kar örtüsünden bir kar katılımının olmadığı ya da bir başka deyişle çığ patikası boyunca kar örtüsünden bir oyulma veya depolanmanın oluşmadığını kabul etmişlerdir. Fakat gözlemlerin bu kabul ile uyuşmadığı kanaatine varmışlardır. Bu nedenle çığ hareketi esnasında kar kütlesine katılımın (oyulma veya depolanma şeklinde) kar dinamiğine etkisini araştırmışlardır. Çığ patikası boyunca oluşan

bu değişimi Grigorian ve Ostroumov (1977) önerdiği oyulma depolanma prensibini kullanarak derinlik ortalamalı kütle ve momentum denklemlerini oluşturmuştur. Çalışma sonuçları kar kütlesindeki bu dinamik değişimin bu çalışmada olduğu gibi bir boyutlu bir model üzerinde değil iki veya üç boyutlu bir model ile çalışılması gerektiğidir. Çünkü bir boyutlu modelde genişlik etkisi sınırlı olacağından potansiyel erozyon bölgelerinin yakalanması da sınırlı olacaktır.

Kar çığları dik yamaçlı dağlık alanlardaki ulaşım hatlarını ve yerleşim yerlerini tehdit etmektedir. Tehlike önleme stratejileri çığ durma mesafelerini ve kar çığlarını arazide üç boyutlu basınç haritalarını belirleyebilmek için sayısal modeller, CBS (GIS) tabanlı yöntemlerle kombine olarak uygulanmaktadır. Kar çığı modelleme sistemi genellikle tek çığ güzergâhını çalışmak için uygulanır. Gruber ve Bartelt (2007), sayısal modelleme sistemlerini büyük alanlar için tehlike analizinde uygulamışlardır. Çığ akımını derinlik ortalamalı bünye denklemleri ile ifade etmişlerdir. Kar çığı modellemelerinde başlangıç kırılma derinlikleri ve kopma alanlarının tanımlaması için uygulanan istatistiksel ve CBS (GIS) tabanlı metotlar tanımlanmıştır. Burada yükselti, çığ boyutları ve topoğrafyanın fonksiyonu olan büyük çığlar için sürtünme katsayılarının kalibrasyonu tartışılmıştır. Simülasyon çıktıları ile tarihi çığ olayları ve mevcut çığ tehlike haritalarının karşılaştırılması yoluyla modeli kalibre etmek için, İsviçre'nin farklı kar iklimleri ve yükselti yerlerini temsil eden ve yüz ölçümleri 100 ile 350 km^2 arasında değişen 7 test sahası kullanılmıştır. İsviçre'nin dağlık bölgeleri (25.000 km^2) üzerindeki ormanların çığlara karşı koruma fonksiyonu taslağını oluşturabilmek için çığ model sisteminin nasıl uygulandığı gösterilmiştir.

Mangeney ve diğerleri (2007) çığ yatağından malzeme erozyonu ve çığa katılması konusunu sayısal model açısından değerlendirmişlerdir. Sayısal model sonuçlarından kayan büyük kütlenin altında granüle malzemeden çok ince bir tabaka bile olsa akımı oldukça güçlü bir şekilde etkilediği görülmüştür. Ayrıca granüle tabaka kalınlaştıkça akan kütlenin dinamiği yavaşlatmaktadır. Sayısal simülasyon sonuçları yeterince kütlenin çığa katılımıyla büyük dalgalanmaların olabileceği, akan malzeme enerjisinin ve sürtünme ile kaybedilen enerjinin artacağı bilgilerini de belirtmektedir.

Leitinger ve diğerleri (2008) uzaktan algılama yöntemleri (uzaydan elde edilen bilgiler) ışığında kar kaymalarının takip edilebileceğini düşünerek geliştirmiş oldukları SSGM (spatial snow-glide model) modelini iklimsel açıdan farklı özelliklere sahip iki alan için 5 kış sezonu boyunca uygulamışlardır. Çalışma ile altı değişken parametrenin (orman örtüsü pozisyonu, eğim açısı, yağış miktarı, yüzey pürüzlülüğü, batı yönünde bakı, doğu yönünde bakı) önemli oldukları belirlenmiştir. Çalışmada en küçük kareler yönteminden elde edilmiş korelasyon katsayısı (R^2=0.823) değeri ile yaklaşımlar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemin güvenirliği ayrıca erozyona uğramış bölümlerin haritaları ile karşılaştırılmıştır. Risk belirleme açısından kullanışlı bir model olarak önerilmektedir.

Gauer ve diğerleri (2008) çığ gözlemlerinden ve ölçümlerinden çıkardıkları sonuçları paylaşmışlardır. Çalışmada Norveç ve İsviçre'den çığ gözlemleri sunulmaktadır. Çığın depolanması, yüksek frekanslı etki basıncı, akışkanlığı ve ıslak-toz çığ karışımını ayırt edebilen radar ölçümleri konularında gözlemleri yoğunlaşmıştır. Yazarlar sayısal modellerde genellikle iki tür (ıslak ve toz) çığın çalışıldığını fakat doğada üçüncü bir sınıf olarak çığın karmaşık bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Borstad ve McClung (2009) modellerinde tek bir sürtünme (Coulomb tipi) değerini kullanmışlarıdır. Modelde Newton'un ikinci hareket kanunu kullanılmış ve klasik yöntemlerde olduğu gibi yerçekimi etkisi ile harekete geçiren kuvvetler ve direnç kuvvetleri belirli matematiksel ifadeler ile birlikte çalışma içerisinde verilmiştir. Çalışmada vurgulanan nokta sürtünme katsayılarının bir boyutludan üç boyutluya kadar tüm modellerde uygun değerlerinin seçilmesinin zorluğudur. Bu nedenle bu çalışmada, tüm patika boyunca tüm hızların bire-bir doğru olarak tahmin çalışmasından çok özellikle durma bölgesinde hızların ve durma bölgesinin doğruya yakın belirlenmesi konusunda yoğunlaşılmıştır. Model çok büyük çığları dikkate alarak kurulmuştur.

Beguería ve diğerleri (2009) iki boyutlu çamur ve granüle malzeme akışını modelleyen MassMov2D isimli dinamik modelini sunmuşlardır. Karmaşık geometriye sahip arazilerde derinlik ortalamalı akım denklemlerini sığ-su yaklaşımı ile çözen bu model coğrafi bil sistemleri GIS ile uyumlu çalışabilmektedir. Model birçok arazi uygulaması ile doğrulanmıştır. Yazarlar sonuçların tatmin edici düzeyde başarılı olduğunu belirtmektedir.

Çığın dinamik davranışında en büyük rol malzeme olduğundan Bovet ve diğerleri (2010) çalışmalarında karı, Newtonyan olmayan bir akışkan olarak düşünerek bir model geliştirmişlerdir. Makalede kayma oranına bağlı viskozite tanımı ile bağlantılı bir kar-çığ dinamiğinin önemli özellikleri anlatılmıştır. Hareket halindeki karın, hareketsiz kara göre daha düşük viskoziteye sahip olduğu belirtilmiştir. Yazarlar önerdikleri modelin diğer modellerdeki çığ özellikleri ile örneğin çığ derinliği, eğim açısı, çığın ön ve arka noktalarının pozisyonu gibi uyumlu olduğu göstermişlerdir. Hız profili deneysel olarak ayrıntılı incelendiğinde iki bölümden oluştuğu görülmektedir. Altta oldukça kaygan ince temel bir tabaka ve üstte daha az kaygan fakat kalın bir tabaka olduğu belirlenmiştir. Bovet ve diğerleri (2010) çalışmada ayrıca belirtilen özellikleri dikkate alan sayısal model sonuçlarını tartışmışlardır. Sayısal model deney sonuçları ile doğrulanmıştır. Modelde kullanılan malzeme Newtonyan olmayan bir malzeme olarak düşünülmüş, sayısal benzeşimi iki bölümde değerlendirilmiştir. Önce, düşen çığ kütlesinin üzerinde aktığı alan, bilinen basit bir formda ve zamanla değişmeyen olarak kabul edilmiştir. İkinci olarak serbest sınır koşulu dikkate alarak çözüm üretilmiştir.

Meyapin ve diğerleri (2011) toz kar çığlarının modellenmesi ile ilgili birkaç parametreyi tartışmışlardır. Örneğin iki-akışkanlı bir akım kabulü bunlardan birisidir. Modeli basitleştirmek adına barotropik eşitlikler kullanılmıştır. Araştırmada ilk olarak iki farklı akışkandan her birinin sıkışa bilirliği yorumlanmıştır. Oluşturulan matematiksel model hiperbolik olmadığından sayısal çözüm açısından oldukça zahmetli sonuçlarla karşılaşılmıştır. Bu zorluğu aşmak için yumuşatma (relaxation) yöntemi kullanılarak sadece hız modeli türetilmiştir. Son olarak modelin sıkışabilirlik limitleri türetilmiştir.

Dutykh ve diğerleri (2011) yeni bir toz çığ sayısal modeli hazırlamışlar ve modeli, sabit eğimli arazide çığ önünde sabit bir engel üzerindeki etkilerini incelemek üzere kullanmışlardır. Çığı ifade eden diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü için tam kapalı sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde hacim oranı, hız ve basınç değerleri modelin ürettiği sonuçlar olarak sunulmuş ve tartışılmıştır.

Mergili ve diğerleri (2012) yeni nesil sayısal modellerin GIS-Coğrafi Bilgi Sistemleri ile uyumlu çalıştırılarak çığ etki alanı, hız ve granüle akımın enerjisi gibi parametreleri daha etkili bir şekilde belirlemekte faydalı olduğunu göstermiştir. Basit bir istatistiksel ilişki ya da kütle modeli CBS tabanlı çalışan bir sistemde uygulanabilmektedir. Tabii ki bu sonuçlar büyük ölçekte genel fikir vermesi açısından kullanılmaktadır. Detaylı bir durma mesafesi, hız ve basınç parametresi çalışması yapılacaksa kütle ve momentum denklemlerinin detaylı açılımı ile işlemlerin tamamlanması gerekmektedir. Fakat sayısal çözüm ile birlikte kullanılan CBS yine çok faydalı bilgiler sunmaktadır. Çalışma farklı alanlara uygulanmış örneklerle tamamlanmıştır.

Luna ve diğerleri (2012) bir-boyutlu sayısal model ile durma mesafesi açısından çığ akımını analiz etmişlerdir. Model parametreleri Güney Fransa Alplerinde 2003 yılında meydana gelen çığdan elde edilen bilgiler ışığında doğrulanmıştır. Modelde çığ hareketi esnasında mevcut kar kütlesinden harekete karışım oldukça sınırlı tutulmuştur.

Gauer (2013), meydana gelmiş birçok çığ olayını incelemiş, enerji dengesini de dikkate alarak çığların ölçülmüş ön bölge hızlarını analiz etmiştir. Çalışmada özellikle karışık yapıdaki çığlarda (kuru kar çığları gibi toz çığ içerisinde akışkan özelliğe sahip kar kütlesinin bulunması gibi) ortalama yavaşlama ivmesini hesaplamıştır. 320 farklı durma mesafesi için yapılan karşılaştırmaların iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenle klasik modellerin tek bir malzeme kabul ederek çözüm yapmalarının tartışılabileceğini göstermiştir.

Eglit ve Yakubenko (2014) kar çığlarında veya eğimli araziden akan diğer malzemelerde (örneğin çamur akışı) tabanda akıma katılacak malzemenin yapısının akım üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Malzeme için geliştirilen matematiksel modelde Issler ve Pastor (2011)'ün önerdiği yataktaki gerilmelerin taban kayma gerilmesine eşitliği prensibini uygulamışlardır. Bu çalışmada kullanılan modelde türbülanslı akım modeli ile

birlikte Bingham ve Herschel-Bulkley akışkanı olarak uygulanmıştır. Akım parametrelerini hesaplamak için kullanılan denklemlerde derinlik ortalamalı denklemler değil tüm eşitlikler kullanılmıştır. Tabandan akıma katılan malzeme oranı ve kayma oranı için geliştirilen formüller hem analitik olarak çıkarılmış hem de sayısal hesaplamalar ile doğrulanmıştır.

2.3.1 Savage ve Hutter Modeli

Bu bölümde Savage ve Hutter tarafından geliştirilen model uygulamaları anlatılmaktadır.

Wang ve Hutter (2001) çığın sayısal yöntemlerle çözümünde sıkça kullanılan bazı sayısal çözüm önerilerini kıyaslamalı olarak konvektif baskın problemleri dikkate alarak sunmuşlardır. Lax-Friedrischs, first-order upstream, second-order upstream, merkezi farklar, Lax-Wendroff, Beam-Warming, Fromm, third-order QUICK, QUICKEST, high resolution flux-corrected transport ve total variation diminishing (TVD) yöntemleri bir-boyutlu konveksiyon-difüzyon probleminin çözümü için karşılaştırmışlardır. Sonuçlar düzenlenmiş TVD ve Lax-Friedrischs yöntemlerinin çözümde en iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2004) kar çığları, diğer granüle malzeme akışı ve çamur akışı için Savage-Hutter(SH) modelinin kullandığı kısmi diferansiyel denklem takımının ayrıntılı çalışmasını yayınlamışlardır. Çalışma farklı sayısal çözüm yöntemlerinin model sonuçlarında etkilerini incelemektedir. Parametre hassasiyet çalışması yapılmış ve çığ akımının içsel ve tabandaki sürtünme açılarına karşı hassas olduğu sonucuna varmışlarıdır. Parametre araştırması, çığ akımının içsel sürtünme açısından daha ziyade tabandaki sürtünme açısının değişimine karşı daha hassas olduğunu göstermiştir.

Pudasaini ve diğerleri (2005) serbest yüzeyli çığ akımının eğimli arazide ve mendereslilige sahip kanallarda sayısal model ile benzeşimi üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir. Modelde derinlik ortalamalı Savage-Hutter önerisi kullanılmıştır. Sayısal çözümde yüksek çözünürlüklü, salınımı olmayan ve toplam azalan sınırlayıcılı merkezi sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda çığ durma mesafesinin ana kanaldaki mendereslilikten oldukça etkilendiği sonucuna varmışlardır.

De Toni ve Scotton (2005) çığı bir granüler malzeme olarak kabul ederek iki boyutlu matematiksel ve sayısal model çalışması gerçekleştirmiştir. Model, başlangıçtaki kütlenin yeri, şekli ve hacmine göre arazinin yapısı dikkate alınarak çığ hareketinin başlangıcından sona ermesine kadar çığın dinamik özelliklerinin belirlenmesi şeklindedir. Modelde Savage-Hutter teorisi kullanılmıştır. Bu teori; granüler çığ sıkıştırılamaz, kohezyonsuz, Mohr-Coulomb kriterini sağlayan ve tabanda Coulomb tipi sürtünme kanununu ile sürekli ortamlar mekaniği prensiplerinde çözüm arayışı olan bir modeldir. Kütle ve momentum denklemlerinin dengesi

düşey yönde ortalamalar alınarak ve “sığ su” kabulü ile basitleştirilerek sağlanmaya çalışılmıştır.

Hutter ve diğerleri (2005) kendi ismi ile anılan ve derinlik ortalamalı akışkan akımını bazı kabuller ile çözüm yapan Savage-Hutter (SH) modelinin geçerlilik şartlarını ayrıntılı olarak yeniden değerlendirmişlerdir. Yoğunluğun sabit olması kabulünün literatürden verdikleri örnekler ile mantıklı ve halen geçerli olduğunu belirlemişlerdir. Sığ su denklemleri çözüldüğünden sığlık kabulü incelenmiş özel durumlar hariç bu kabulünde geçerliliğini göstermişlerdir. Üçüncü kabul sadece Coulomb tipi bir sürtünmenin varlığı. Tüm klasik çığ modelleri temel kayma gerilmelerini Coulomb terimine bağlı normal gerilme ve hıza bağlı viskoz teriminin bir kombinasyonu olarak ifade etmişlerdir. Bu kombinasyonda yatak(taban) sürtünme açısı, tabanda oluşan basınç, viskoz direnç katsayısı ki bu değer genellikle sabit kabul edilip çığdan çığa değişmektedir ve tabana paralel yöndeki hızlar etkili parametrelerdir. Hutter, granüle malzeme çalışmalarında viskoz terimindeki katsayıyı sıfır kabul ettiğini ve deneysel çalışmaların da bunu doğruladığını belirtmiştir. Çalışmada bu konu ayrıntılarıyla açıklanarak Coulomb tipi sürtünmenin özel durumlar için ayrıca düzenleme gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmanın ikinci bölümünde çığı idare eden bünye denklemleri ve seçilen sayısal yöntem ile ilgili irdelemeler yer almaktadır. Özet olarak model birçok kez güvenilir sonuçlar üretmektedir. Karmaşık geometriye sahip arazilerde model sınırlı ölçüde sonuçlar verdiğinden modelin geometriyi yakalama özelliğinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Fiziksel modeller yapılarak sayısal model kapasitesinin arttırılması gerektiği önerilmiştir. Ayrıca model ile yapılan tahminler istatistiksel veriler ile karşılaştırmalı ve olasılık dağılımları ile birlikte bir çalışma yapılması gerektiği açıklanmıştır.

Zahibo ve diğerleri (2010) çalışmalarında Savage-Hutter(SH) modelinin bir uygulamasını ve bir analitik çözüm önerisi sunmuştur. Hodograf (Legendre) dönüşümünün farklı başlangıç koşullarına sahip çığlar için uygulanabileceğini önermiştir. Çalışmadan üretilen sonuçlar başlangıçtaki çığ kütlesi şeklinin korunarak çığ patikası boyunca devam ettiğini göstermiştir. Çığın ön yüz şeklinin h=xa gibi bir fonksiyonla tahmin edilebileceğini belirtmektedir.

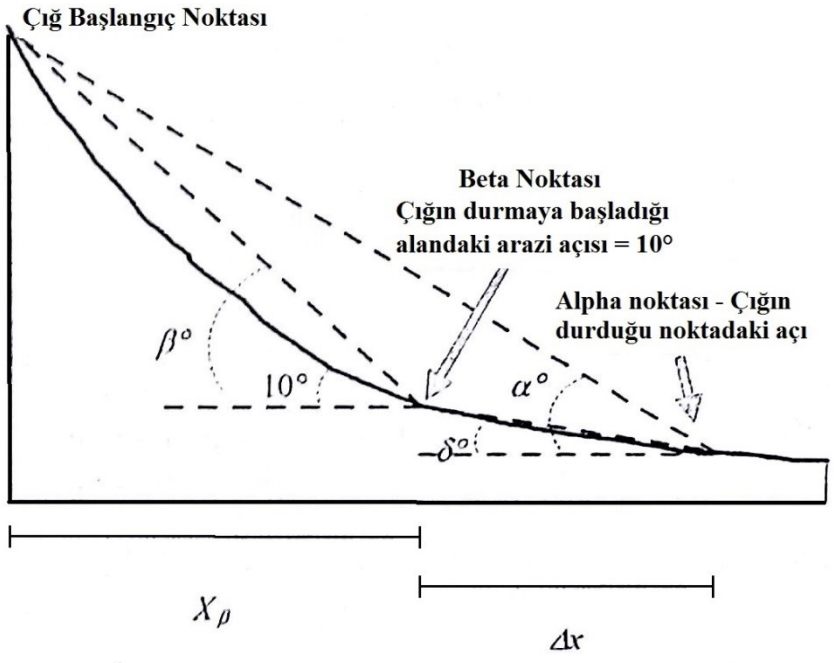
2.4 İstatistiksel Modelleme Çalışmaları

Kar çığı durma mesafesinin tahmini hem kontrol yapıları hem de yerleşim planlaması açısından karar verme aşamasında birinci derecede önemlidir. Çığ durma mesafesi hesaplaması için iki ana tahmin yöntemi mevcuttur. Bunlar; çığ dinamik modelleri ve istatistiksel modellerdir. İstatistiksel modeller belirli bir patika için maksimum çığ durma mesafesini bir veri seti olarak baz alan arazi parametrelerine bağlı ampirik tahmin yöntemleridir.

Kar çığları ile ilgili istatistiksel çalışmalar, sağlıklı çığ verilerinin artması ve farklı istatistiksel yaklaşımların uygulanmaları ile birlikte kullanımı artmaktadır. İstatistiksel modellerin ilk uygulamaları Norveç Geoteknik Enstitüsü (NGI) çalışanlarından Lied ve Bakkehoi (1980) tarafından çığ durma mesafesi hesaplanması amacıyla geliştirilen Alfa-Beta modelidir.

2.4.1 Alfa-Beta Modeli ve Durma Oranı Modeli

Alfa-Beta modeli en küçük kareler yönteminin uygulanması ile geliştirilmiştir bir modeldir. Bu modelde Alfa ve Beta isimli iki arazi açısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açılar araziden elde edilen ölçümlerle temin edilir. Beta açısı çığ durma noktasının çığ başlangıç bölgesi ile yaptığı açıyı, Alfa açısı ise, çığın durduğu nokta ile çığ başlangıç noktası arasındaki açıyı temsil etmektedir. Bu açılar Şekil 6'da açıklanmıştır.



Şekil 6. Alfa–Beta ve durma oranı modelinde kullanılan parametrelerin tanımı (Barbolini ve diğerleri, 2000)

Durma oranı modelinde iki uzunluk parametresi tanımlanmaktadır. Durma oranı, Şekil 6'da gösterilen X_β ve Δx parametrelerinin birbirine oranı şeklinde tanımlanır. Her iki modelde de Alfa ve Beta noktalarındaki açıların belirlenmesi gerekmektedir. Öncelikle arazide 10° açıya sahip arazi noktası tespit edilir, sonrasında bölgede yaşanan çığlardan en büyük durma mesafesine sahip uzunluk kaydedilir. Bu verilerden faydalanılarak (genellikle yineleme periyodu 100 yıllık değerler kullanılması önerilir) lineer regrasyon eşitliği ile Beta ve Alfa değerleri türetilir ve Gumbel dağılımı kullanılarak durma oranı parametreleri belirlenir. Daha sonra çığ durma

mesafesi tahmini için bu model kullanılır. Gumbel dağılımı kümülatif yoğunluk fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Barbolini ve diğerleri, 2000).

$$P(x \leq X) = exp[\,-exp(x-\omega)/\vartheta]$$

Bu eşitlikte; ω: Dağılıma ait bölge parametresini, ϑ: ölçek parametresini simgelemektedir.

Literatürde Alfa-Beta modeli ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Örneğin Gauer ve diğerleri (2010), Gauer ve diğerleri (2009), Delparte ve diğerleri (2008), McClung (1990), McClung (1999), McClung (2000), McClung (2001) bunlardan en önemli uygulamalardır.

İstatistiksel olarak alfa-beta yaklaşımı ile durma mesafesi hesabı dışında farklı çığın yine istatistiksel boyutunu ele alan farklı çalışmalar da mevcuttur. Örneğin McClung (1999), arazide bulunan risk altındaki alanlar ya da oradan geçen araçların en az bir kez çığ ile karşılaşması olasılığını, bir noktada Tr yineleme periyoduna sahip bir olayın belirli bir zaman diliminde gerçekleşmesi şeklinde tanımlamıştır. Yaptığı çalışmada Binom dağılımı ve Poisson sürecini dikkate almıştır.

McClung (2001) yaptığı bir diğer çalışmada iki yöntemi karşılaştırmıştır. Bu iki metottan birinin seçimi, çığın durma mesafesi alanına ulaşması veya bu alanı aşması olasılığını etkilediği için oldukça önemlidir. Özellikle insan yerleşiminin bulunduğu bölgelerde bu karşılaştırma daha da önemlidir. Analizler, durma bölgesinin daha küçük arazi açılarına sahip olması durumunda Gumbel dağılımının, durma bölgesinin daha dik arazi yapısına sahip olması durumunda ise en küçük kareler yönteminin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (McClung, 2001).

Çığ durma mesafelerinin dağılımı tek bir patika için zamana ve konuma göre değişmektedir (McClung, 2000). Ayrıca bir dağ silsilesinden diğerine de değişim mevcuttur. McClung (2000), Gumbel dağılımı ve Poisson sürecini dikkate alarak zamansal dağılımı kabul eden bir yaklaşımla çalışmıştır. Çalışma dünyanın farklı bölgelerinden elde edilen verilerle desteklenmiştir. İlgili dağ silsilesi için maksimum çığ durma mesafeleri bir veri seti olarak girilmeli ve ilgili patika için çığ durma bölgesinin başlangıcında çığ frekansı bilgisi verilmelidir. Böylece durma mesafeleri uygulamaları açısından oldukça önemli olan tekrarlama periyodu tahmini, pozisyonun bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca farklı dağ silsileleri için ilişkili Gumbel parametreleri türetilmeye çalışılmıştır. Bunun için bir dağ silsilesinde uygulanan frekansı diğerlerine de frekans indeksi olarak uygulama çalışması yapılmıştır (McClung, 2000).

McClung (2000) durma mesafesi belirlemek için iklim ve arazi şartlarını yansıtma amaçlı Gumbel dağılımının kullanılabileceğini söylemiştir. Durma oranı modeli, durma mesafesi bilgisi kısıtlı, küçük ve eksiklikler bulunan veri setlerine uygulanabileceğini göstermiştir. Ayrıca model,

yüksek frekanslı kar çığlarının tahminini kolaylaştıran ekstrem değer Gumbel dağılımına uyarlanabilmektedir (Smith ve McClung, 1997; McClung, 2001).

Bu konu ile ilgili son yıllarda yapılan bir çalışma ise Sinickas ve Jamieson (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kar çığlarının durma mesafesi tahmini için risk belirlenmesi ve dağlık bölgelerde ulaşım planlamasının önemi belirtilmiştir. İki istatistiksel model; durma oranı modeli ve Alfa-Beta modeli kullanılarak en uç noktadaki durma mesafesi pozisyonunu tahmin etmişlerdir. Yine bu çalışmada da 10°'lik eğime sahip arazi açısının bulunduğu nokta Beta açısı olarak tanımlanmıştır. Kuzey Amerika'da Beta noktası genellikle arazi gözlemleriyle belirlenmektedir. Bununla birlikte Beta'nın belirlenmesi amacıyla sayısal yükseklik modellerinin (DEM) kullanımı hızla artmaktadır. Bu çalışmada Batı Kanada'da bulunan 53 patika üzerinde yapılan araştırma sonucunda 10 metrelik sayısal yükseklik haritalarının en iyi Beta noktasını verdiği görülmüştür.

İstatistiksel modellerin dinamik modellere göre iki ana avantajı vardır. Bunlar; basitliği ve bölgesel çığ tarihinden türetilmesidir. Modelin iyi çalışması açısından kayıtlı verilerin uyumluluğu oldukça önemlidir. İstatistiksel modeller çığa ait durma mesafesini tahmin edebilmekte iken çığın hızı, basıncı ya da diğer önemli parametreleri hakkında bilgi vermemektedir. Bu nedenle literatürde hem istatistiksel hem de sayısal modellerin birlikte kullanımı önerilmektedir.

Alfa-Beta modelinin yanısıra farklı istatistiksel yaklaşımlar literatürde yer almaktadır. Farklı istatistiksel yaklaşımlara ait literatür çalışmaları aşağıda anlatılmıştır.

2.4.2 Farklı İstatistiksel Yaklaşımlar

Ancey ve diğerleri (2004) çalışmalarında sadece sayısal ya da istatistiksel yaklaşımların kullanılarak çığ açısından tehlikeli bölgelerin tespitinin tam olarak gerçekleştirilemediği bu nedenle Salm-Burkard-Gubler yöntemine olasılık yaklaşımının eklenerek arazi verilerine uygun parametrelerin tespiti ve Monte-Carlo benzeşimini gerçekleştirilebilecek bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece büyük çığlar için daha iyi sonuçlar elde edilmesi planlanmıştır. Model Fransa Alplerinde birbirlerine yakın alanlarda bulunan çığ hatlarında denemiştir. Çığ patikaları, çığ oluşum sıklıkları ve durma mesafesi açısından farklıdırlar. Model sonuçlarının kendini tekrar eden çığlarda kullanımının uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Bir diğer istatistiksel çalışma McClung (1990) tarafından, 500 çığ patikasından elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda dinamik model kullanımının istatistiksel modellere göre büyük avantajlar sağladığı, bu nedenle dinamik modellerin tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Barbolini ve diğerleri (2000) üç adet dinamik, iki adet

istatistiksel modeli 5 çığ sahası için sınamışlardır. Bu çalışmada Voellmy-Salm sürtünme parametrelerinin dikkatli analizi sonucunda kullanımı ile dinamik modellerin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Çığ tehlikesi değerlendirilmesi için geliştirilecek herhangi bir yöntemde en kritik nokta çığ mesafesinin aşılma olasılığının belirlenmesidir (Barbolini ve diğerleri, 2003). Bunun anlamı bir yıllık olasılık değeri olup herhangi bir patika boyunca bir çığ tarafından bir hedefe ulaşılma veya aşılması olasılığıdır. Ayrıca bir başka tahmin edilmesi gereken değer çığın başlangıç bölgesinde bulunan kar hacmidir. Bu değer ortalama her Tr yineleme periyoduna sahip tekrarlamada biriktiği kabul edilen ve kayıtlardan istatistiki olarak elde edilebilecek bir değerdir. Sonrasında bu hacim bir veri olarak kullanılır. Çığ dinamik modellerinin kalibrasyonu için de uygundur. Barbolini ve diğerleri (2003) tarafından önerilen yöntemde yineleme periyodu değeri düşünülmüş ve bir çığ tarafından etkilenen alan tanımlanmıştır. Bununla birlikte yöntem durma bölgesinde herhangi bir nokta için olasılık değeri hesabına imkân vermemektedir. Yapılan çalışmada olasılık değeri sayısal integrasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Çalışmanın içerisinde bir boyutlu hidrolik-süreklilik çığ dinamik modeli uygulanmıştır. Model, İtalyan Alplerinde bulunan verilerle kalibre edilerek tehlike haritalarının hazırlanmasında kullanılmıştır.

Barpi (2004), kullandığı değişken parametrelerinin önceden belirlenmiş derecesini ya da bulanıklığını içeren bir toz çığ modeli incelemiştir. Bu modelde parametrelerdeki belirsizlik için bir değer atanır. Sonrasında bulanık küme teorisi sayesinde sonuçlardaki belirsizlik belirli hale getirilir. Belirsizliğin miktarını kısıtlamak açısından modelde altı (6) parametre alınmıştır. Sayısal modelin sonuçları bulanık eşitliklerin çözümü ile birlikte değerlendirilmiştir. Böylece modeldeki parametrelerin sonuçlar üzerindeki hassasiyeti incelenmiştir. Bu makalede öncelikle iyi bilinen bir çığ modeli sunulmuş ve çözümleri sürtünmenin etkileri açısından değerlendirilmiştir. Bulanık küme teorisinin kısa bir açıklamasından sonra çığ modeli ile ilişkisinden bahsedilmiştir.

Delparte ve diğerleri (2008), durma mesafesi tahminine yönelik modellerin kullanımının, kar çığlarının tarihsel çığ gözlemlerinin eksikliğinde oldukça kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Kanada'da yol güzergâhlarında çığ durma mesafeleri sıkça kaydedilmektedir. Fakat yol dışındaki alanlarda bu kayıtlar her zaman bulunmayabilir. Kanada'da tahmini durma mesafe bilgisi CBS (GIS) haritalanmasına doğru yönlenmiş, böylece kayak merkezi olarak planlanan bir alanın tespiti için oldukça faydalı bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmada Alfa-Beta durma modeli uygulanmıştır. Kırk yılı aşkın tarihsel verilere dayanan Kanada otoyolları üzerinde topografik parametreler de kullanılarak CBS uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama sayesinde Alfa-Beta durma mesafesi modeli kalibre edilmiştir. Çalışmada yüksek çözünürlüğe sahip veri seti kullanıldığında daha iyi sonuçların elde edildiği vurgulanmıştır. Düşük

çözünürlüklü veri setleri ile çalışıldığında model parametreleri arasında büyük farklılıklar gözlenmemiştir.

Norveç Geoteknik Enstitüsü (NGI), Batı Norveç'te 30 yıldan fazla süredir test sahası olarak kullanılan Ryggfonn'da tam ölçekli çığlar gerçekleştirilmiştir. Bu süreç boyunca 30 civarında kuru kar çığı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve ölçümlerde çığ ön hızları ve durma mesafeleri kaydedilmiştir. Bu ölçümlerin bazıları basit bir çığ modeli için parametre tayininde kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda çığ ön hızlarının ve durma mesafelerinin tahmininde kullanılan istatistiksel yaklaşımın klasik kütle blok model yöntemleriyle benzer sonuçlar ürettiği gösterilmiştir (Gauer ve diğerleri, 2009).

Maksimum çığ durma mesafelerinin belirlenmesi için Gumbel (Extreme değer I) dağılımı kullanılmıştır (McKittrick ve Brown, 1993). Değerlendirmede boyutsuz oranlar ile ifade edilmiş Güneybatı Montana (A.B.D.) çığları kullanılmıştır. Durma mesafesi oranları rastgele tanımlanan bir referans noktasına göre tanımlanmıştır. Analiz ve istatistiksel modelin geliştirilmesinde 24 adet çığ patikasından alınan gözlemler dikkate alınmıştır. Montana çığlarının küçük düşülere sahip olmasından dolayı modelin arazideki en küçük hatalı ölçümlere oldukça hassas olduğu görülmüştür. Geliştirilen modelin farklı patikalar için uygulanarak karşılaştırılmasında bir patika için geliştirilen modelin diğerlerinde maksimum çığ durma mesafelerinin doğru tahmin edemediği belirlenmiştir (McKittrick ve Brown, 1993).

Bakkehoi ve diğerleri (1983), maksimum çığ durma mesafesini dört topografik faktör ile hesaplamışlardır. 206 adet çığın regresyon analizinden bulunan amprik bir eşitlik ile maksimum durma mesafesini, çığ güzergâhının ortalama gradyanı cinsinden tahmin etmekte kullanmışlardır. Korelasyon katsayısı R=0,92 ve toplam hata standart sapması ise SD= 2,3°'dir. Çığ güzergâhları; çığın güzergâhının ortalama eğimi β, güzergâhın eğriliği yıı, düşey yer değiştirme Y ve kopma bölgesinin eğriliği (θ)'nın sınırlamalarına bağlı olarak daha ileri bir şekilde farklı kategorilere sınıflandırılmıştır. α olarak ifade edilen durma mesafesine, söz konusu sınırlandırmaların derecesinin önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Durma mesafesi tahminini en iyi bulan β ve Y tabanlı sınıflandırmalardır. $\beta<30^o$ ve $Y>900\ m$ olan çığlar için R=0,90 ve DS=1,02°'dir.

2.5 Türkiye'deki Çığ Model Uygulamaları

Türkiye'de ilk modelleme uygulamaları bazı akademik çalışmalar ile başlamıştır. Örneğin Durak (2011), Arslan (2014), Uçar (2014) çığın bilgisayar model uygulamaları ile ilgili tez çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Koçyiğit ve Gürer (2007), Aydin ve diğerleri (2014), Aydın (2010), Köse ve diğerleri (2010) gibi araştırmacılar ise Türkiye'de yaptıkları uygulamaları makale olarak yayınlamışlardır. Durak (2011) tez çalışmasında, Bayburt iline bağlı Üzengili'de

meydana gelmiş çığ için sayısal model sonucundan elde edilen basınç değerlerini kıyaslamak amacıyla yerleşim biriminde çığ sonrasında etkilenen yapılardan elde edilen gözlemleri birleştirerek çığın yıkıcı basınç etkilerini araştırmıştır. Arslan (2014), Trabzon ili Uzungöl beldesinde bulunan çığ patikalarından birisi için sayısal çığ modeli uygulaması gerçekleştirmiştir. SLF Araştırma Merkezinde geliştirilmiş olan ve birçok ülkede uygulanmış **AVAL-1D** Çığ Dinamik Modelini kullanarak seçilen uygulama alanında önceden oluşmuş bir çığ örneği için benzeşim elde etmiştir. Model, çığ akış ekseni boyunca süreklilik ve momentum denklemlerini sayısal yöntemler ile çözmektedir. Program tarafından istenen girdi verileri bu tez içerisinde ayrıntıları ile açıklanmıştır. Program çıktı olarak çığ hızını, basıncını ve durma mesafesini sağlamaktadır. Modelin sonuçları 1992 yılında yaşanan Uzungöl örneğindeki ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile ölçümlerin uyumlu olduğu belirlenmiş, uygulama alanı için seçilebilecek sürtünme değerlerinin aralıkları tespit edilmiştir. Modelde kullanılan sürtünme parametrelerinin (μ ve ξ) Türkiye'deki iklim ve arazi şartları açısından değerlendirilerek modelde önerilen değerlerle kıyaslaması için yeni çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Sürtünme parametreleri modelin hassas değerleri olup konu ile ilgili bir diğer çalışma Koçyiğit ve Gürer (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir diğer tez uygulaması ise Uçar (2014) tarafından yapılmıştır. Bu tezde öncelikli amaç, potansiyel çığ tehlike haritalarının tespit edilmesi, tehlike alan sınırlarının boyutlarını etkileyecek girdilerin ve etki düzeylerinin, arazi gözlemleri ve modelleme çalışmaları sonucunda belirlenmesidir. Çalışma alanı olarak Çoruh Nehir Havzası ve Palandöken Kayak Merkezi civarı seçilmiştir. Tezde potansiyel çığ başlama bölgeleri analizleri; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak tespit edilen eğim, bakı, tepe sırtlarına uzaklık, yüzey engebelik gibi topoğrafik karakteristikler ve bitki örtüsü bilgilerine göre, yine CBS'de hazırlanan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana hedefi uzun vadede çığ tehlikesi açısından oldukça önemli havzalardan biri olan Çoruh Nehir Havzası'nın yanı sıra, Türkiye'de bulunan diğer tüm riskli bölgelerde de uygulanabilecek temel bir çalışma ortaya koymak ve ilerleyen dönemde gerçekleştirilecek çığ modelleme çalışmaları ile önlem uygulamalarına katkı sağlamaktır.

Çığ sayısal modellerinin Türkiye açısından sınanması özellikle son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar ile devam etmektedir. Örneğin Aydin ve diğerleri (2014) tarafından Türkiye'de seçilen bazı geçmiş çığ olayları için iki boyutlu sayısal model sınamaları gerçekleştirmişlerdir. Model sınamaları genelde bilinen durma mesafesi ve çığ durma bölgesinde biriken kar yüksekliği üzerinden kontrol edilir. Çünkü çığ esnasında ölçülmesi mümkün olmayan çığ hareket hızı, akım yüksekliği ve çığın etki basıncının bir karşılaştırma parametresi olarak kullanımı mümkün değildir. Bu nedenle olay sonrası gözlenen çığ durma noktası, birikmiş kar yüksekliği ve yerel halk ile yapılan görüşmeler neticesinde elde edilen bulgular sayısal modelin

bazı parametrelerini tahmin etmekte kullanılır. Bu bulgular ışığında doğrulanan model çalıştırılmaya hazırdır. Yeni nesil sayısal modeller CBS ile birlikte geliştirilmeye devam edilmektedir. ELBA+ ve RAMMS gibi çığ modelleri CBS ile uyumlu çalışmakta, programdan elde edilen sonuçlar üç boyutlu haritalar üzerinde gösterilebilmektedir (Aydın, 2010). Benzer bir uygulamanın ELBA+ sayısal modelinin Kastamonu ili sınırlarında bulunan Kayaarkası Köyünde meydana gelmiş çığ olayının benzeşiminde Köse ve diğerleri (2010) tarafından kullanıldığı görülmektedir.

2.6 Kar Profili ile İlgili Literatür Çalışmaları

Bir kar profilinde genel olarak; kar derinliği, katmanlar, tane yapısı, büyüklüğü ve sertliği, su içeriği özelliği (kuru, nemli, vb.) kar sıcaklığı, kar yoğunluğu, katmanların mukavemet özellikleri ve kırılma analizi, kırılma sırasındaki davranış biçimi gibi özellikler ile hava şartları ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. Bununla birlikte profil almak için literatürde tek bir yöntem kullanılmamaktadır. Avrupa Alp bölgesinde uygulanan en kapsamlı profil alma işlemi İsviçre'de uygulanan yöntemdir. Profil çıkarılması ve yorumlanması oldukça dinamik bir konu olduğundan konu ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Özellikle çığ tahminine yönelik profil çıkarılması ile ilgili son yıllardaki gelişmeler bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

İsviçre'de uygulanan kar profili alma çalışmaları Wiesinger and Schweizer (2000)'de anlatılmıştır. Özetle İsviçre'de 80-90 gözlemci ayda iki kez kar profili bilgilerini sağlamakta yaklaşık 110 profil analizden geçirilerek uyarı servisine gönderilmekte ve Alplerdeki kar stabilitesi durumu değerlendirilmektedir. Kar stabilitesi, zayıf tabaka üzerindeki yükün gerilmeye oranı olarak ifade edilmiştir (Wiesinger and Schweizer, 2000). Diğer taraftan aynı çalışmada stabilite belirlenmesinin anlamı, göz önüne alınan koşullar altında arazideki karın çığ oluşturup oluşturmayacağı olasılığının hesaplaması olarak tarif edilmektedir. Avrupa'da kar stabilitesine bağlı tehlike ölçeği kullanılmasına rağmen Kanada'da daha detaylı açıklamaların bulunduğu bir sınıflandırma kullanılmaktadır. Kar profili çalışmalarında bulunan araştırmacılar arasında bir anket yapılarak parametrelerin uzmanlarca önem sırası yapmaları istenmiştir. Çalışma sonucunda zayıf katman belirlenmesi ve Ram profilinin önem sırasında ön sıralarda, kardaki su içeriğinin ise en alt sıralarda olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada vurgulanan sonuçlarından birisi alansal dağılımın en önemli değerlendirme kriterlerinden olması ve bu nedenle Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanımı ile daha kaliteli alansal dağılım verilerinin elde edilebileceğidir.

Dünyada uygulanan kar profilleri elde etme yaklaşımları Pielmeier and Schneebeli (2003) çalışması ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada üç tip test uygulanmıştır. Bunlar; el ile gerçekleştirilen test, Ram testi ve pratik bir kar kalemi ile (Snowmicropen, SMP) yapılan testtir.

Kullanılan kar kalemi ile elde edilen profillerin el ile yapılan ve Ram testi ile gerçekleştirilen profillere göre daha hassas ve iyi sonuçlar verdiği, çok ince kalınlıktaki sert ve yumuşak katmanların elle ve Ram testi ile yapılan profillerde fark edilemediği belirtilmiştir. Bununla birlikte çalışmada, kar örtüsü profillerinin üç-boyutlu olarak değerlendirildiğinde SMP ölçümlerinin de daha detaylı olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilerek özellikle alansal kar dağılımının mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bir parametre olduğu vurgulanmıştır.

Kar örtüsü içerisinde bulunan katmanların özelliklerine bağlı olarak kolay, uygulanabilir bir yöntem Schweizer ve Jamieson (2007) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada İsviçre ve Kanada örnekleri karşılaştırılarak, Kanada yöntemi ile elde edilen profillerin özellikle kritik katmanlarda daha başarılı sonuçlar ürettiğini belirlenmiştir. İsviçre yöntemi %53, Kanada yöntemi ise %62 oranında başarı ile zayıf katmanları belirlemiştir. Elde edilen sonuçlardan birisi de stabilitenin belirlenmesinde özellikle tabakalardaki tane büyüklüğünün, tipinin ve sertliğin daha dikkatli bir ölçüm ile belirlenmesi gerektiğidir. Benzer bir çalışma Schweizer ve Jamieson (2003) tarafından İsviçre ve Kanada profil alma yöntemleri 400 profil üzerinde sınanmıştır. Bu çalışma, aslında Schweizer ve Jamieson (2007)'da belirtilen şekilde bir kıyaslama çalışması olmayıp her iki yönteminde profillerin ayrı ayrı doğruluk derecelerini belirlemeye yöneliktir. Çalışmada profil alma yönteminin %65'inin doğru sınıflamayı verdiği sonucuna varmışlardır.

Kar örtüsü üzerinde ve özellikle yüzeyinden değişik nedenlerle oluşan tetiklemeler, örneğin kayakçılar tarafından, çığın başlamasına neden olabilmektedir. Bu durum profil açısından daha dikkatli çalışılması gereken bir durumdur. Bu nedenle, yüzeydeki taze kristallerin büyümesi ve zayıf bir tabakanın varlığından dolayı tabakaların harekete sürüklenmesini Kanada'nın batısında bulunan Kolombiya dağlarında 1995'ten-2002'e kadar kış mevsimlerindeki özellikle yüzeydeki yeni katmanların da dikkate alındığı kar örtüsü ölçüm çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu veriler, kayan katmandaki kayma gerilmesini tahmin edecek ampirik bir model geliştirilmesi için kullanılmıştır. Geliştirilen model sonuçları kullanılan verilerin %72'sini sağlamıştır. Chalmers ve Jamieson (2003)'da belirtilen ampirik model çalışmasının devamı Zeidler and Jamieson (2006(a)) ve Zeidler ve Jamieson (2006(b))'de görülebilir. Araziden el ile alınan profiller kullanılarak geliştirdikleri modeli iyileştirilmeye çalışmışlardır. Ölçülmüş kayma gerilmesi sabit kabul edilerek ϕ=0.21 olarak kullanılmıştır. Önceki çalışmalardan (Chalmers ve Jamieson, 2003'ten) daha iyi sonuçlar elde edilerek model sonuçları ile verilerin %77-79'unu sağlar duruma gelinmiştir. Aynı araştırmacılar tarafından zayıf tabaka kalınlığı 100 cm'yi aşmayan profillerin dikkate alındığı Zeidler ve Jamieson (2006(b)) bir başka çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda günlük yükleme değerleri ve ortalama değerler kullanılarak yapılan analizlerde korelasyon katsayılarının sırasıyla 0.71 ve 0.63 olduğu belirlenmiştir.

Kar profili çıkarma işlemi arazide gerçekleştirilen oldukça zahmetli bir çalışmayı gerektirir. Bu nedenle birçok araştırmacı arazide kullanıma uygun yöntemler geliştirme çabasındadırlar. Örneğin kar mikro kalemi (SMP) ile karın göstermiş olduğu direnci yüksek çözünürlükte ölçmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır (Pielmeier ve Schweizer, 2007). İsviçre Alplerinden 2001-2002'den, 2003-2004'e kadarki kış mevsimlerinde 25 adet eğimli, 14 adet düz alandan hem klasik hem de SMP ile alınmış profil örnekleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar iki yöntemin %65 oranında tutarlı olduğunu göstermiştir.

Çığ tahminine yönelik profil çalışmalarının yanı sıra sayısal modeller de kullanılmaktadır. Örneğin, bir bölgedeki kar örtüsünün enerji ve kütle denklemlerinin benzeşimini gerçekleştirmek amacıyla bir sayısal model (CROCUS) çalışması yapılmıştır (Brun ve diğerleri, 1989). Model, yağışı, hava sıcaklığını, nemi, rüzgâr hızını, kısa ve uzun dalga radyasyonu gibi meteorolojik faktörleri dikkate almaktadır. Ayrıca kar katmanlarının oluşumunu etkileyen önemli olayların benzeşimini gerçekleştirmektedir. Bunlar; yüksek hız gradyanı, ıslaklık, sıkıştırma ve erime-donma döngüsüdür. Fransa Alplerinden alınan meteorolojik verilerin kullanıldığı model sonuçları yine Fransa'da çığ tahmini çalışmalarında kullanılmaktadır.

Kar profilleri birçok açıdan araştırma konusu olmuştur. Örneğin Conger ve McClung (2009), gözlem yapılan kar profilleri içerisinde alınan kar yoğunluğu ölçümlerini araştırma konusu yapmıştır (Fierz ve Gauer, 1998). Ölçüm hataları, örnekleme hataları ve varyanslar hesaplanmıştır. Arazide kuru kar koşullarında yapılan deneyler farklı hacimlerde alüminyum tüplerde gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analize dayalı bu çalışma sonucunda kar yoğunluğu ölçümlerinde oldukça farklı değerler olduğu görülmüştür. Çalışmada sadece %11 örnek kabul edilebilir ölçülerde bulunmuştur.

Dağlık alanlarda kar örtüsündeki değişim, kar tabakalarının oluşumu, sürüklenen ve esen rüzgâr ile taşınan kar, çığ oluşumunda önemli faktörlerdir. Çığ tahminini geliştirmek için bahsedilen faktörleri dikkate alan uygun bir model seçimi önemlidir. Bununla birlikte modelin karmaşık araziden elde edilecek verilerle sınanması gerekmektedir. İsviçre çığ araştırma merkezi (The Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research, SLF) geliştirmiş oldukları SLF SNOWPACK isimli modeli 2300 m rakımından alınan oldukça kaliteli verilerle sınamıştır. Detaylı karşılaştırmalar sonucunda el ile yapılan kar profilleri ile model sonuçlarının tutarlı olmadığını göstermiştir (Fierz ve Gauer, 1998). Bunun nedeni olarak modeldeki değişkenlerin metamorfizmayı tam olarak yansıtamadığı sonucuna varmışlardır. Modelin iyileştirme çalışmaları devam etmektedir.

Bir diğer arazi çalışmasında ise Jamieson ve Schweizer (2005) 216 profil incelenerek, bunlardan 117 tanesinin kayakçılar tarafından tetiklenen çığlara örnekler olduğu saptanmıştır.

Bunlardan 54 profil test amaçlı olarak kullanılmıştır. Alınan sonuçlar bir tablo halinde listelenmiştir (Jamieson ve Schweizer, 2005).

Türkiye'de kar profili ile ilgili ilk çalışmalar 1990'lı yıllarda başlamıştır. Hem Mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü hem de Gazi Üniversitesi'ndeki akademik çalışmalar (Koçyiğit, 1997) İsviçre Alplerinde alınan profillerin benzerlerini Türkiye'de uygulama aşamasına getirmiştir. Çalışma kar kristal yapısı, tane büyüklüğü, katman sertlikleri, kar tabaka sıcaklıkları, hava sıcaklığı, rüzgâr vb. bilgileri içermektedir (Şekil 7). Ülkemizde düzenli olarak alınması gereken profiller düzenli olarak alınmamış, hatta profil alımı yapılmaz duruma gelmiştir.



Şekil 7. Kar özelliklerinin tabakalara göre kaydedilmesi

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Türkiye'de çığ ile ilişkili verilerin toplanabilmesi için bu proje kapsamında bir pilot bölge seçilmesine ve bu bölgeden çığ verilerinin alınmasına karar verilmiştir. Bu nedenle pilot bölgenin seçiminde ulaşım ve diğer faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca seçilen bu bölgede bir istasyon kurulması gerekmektedir. Kurulan istasyona erişim kolay olmayacağından verilerin istenilen anda güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi için uzaktan erişim yöntemlerinden yararlanılması gerekmektedir. Seçilen pilot bölgede en uygun yöntem internet bağlantısı kullanılarak veri aktarımı olmuştur. Arazide istasyon yeri seçiminde bu durum da dikkate alınmıştır. İstasyondan istenilen verilerin dijital ortamda toplanabilmesi ve istenilen formatlarda düzenlenebilmesi için istasyondaki sensörlerle sorunsuz şekilde haberleşebilen ve kullanımı kolay bir paket programa ihtiyaç duyulmuştur.

Çığ ile ilgili model çalışmalarının Türkiye üzerindeki sonuçlarının incelenebilmesi için RAMMS isimli dinamik modelin temin edilmesi ve gerekli bilişim sisteminin sağlanarak program gereksinimlerinin tamamlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Örneğin Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM) RAMMS programının altlık çalışmaları için gerekmektedir. Bu nedenle ArcGIS programı ve gerekli haritaların sayısallaştırılması işlemleri tamamlanmıştır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM) ve analizlerin gerçek durumu doğru yansıtması açısından olası kopma derinlikleri ve kopma alanlarının tespiti gerekmektedir. Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulurken alınan verilerin sağlıklı olması, programın analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle SYM'nin hassasiyeti ve doğruluğu analiz sonuçları için oldukça önem arz etmektedir. Bununla birlikte olası kopma derinlikleri tespitinde arazide bulunan karın profilinin alınması ve analizinin yapılması gerekmektedir. Bu analizler yapılırken analizi yapan kişinin konu ile ilgili tecrübesi analiz sonuçlarını doğrudan etkileyen etmenler arasındadır. Çığ konusunda tecrübeli araştırmacılar kopma derinliği ve kopma alanlarının tahminini önceki çığlardan faydalanarak ve arazinin topografik yapısı inceleyerek karar verirler. Bu durum, sonuçların hassasiyetinde araştırmacıların tecrübeli ve konu ile ilgili olmaları gereksinimini meydana getirmiştir.

Bu bölümde proje kapsamında kullanılan gereçler ve yöntemler açıklanmaya çalışılacaktır. Öncelikle projenin ana amaçlarından biri olan otomatik çığ istasyonunun bileşenleri tanıtılacaktır. İstasyon içerisindeki kullanılan malzemelerin teknik özellikleri ayrıntılarıyla bu rapor kapsamında verilmiştir. İkinci ana bölüm kullanılan dinamik yazılımdır. İsviçre'den temin edilen RAMMS isimli program ile ilgili temel bilgiler bu bölümde anlatılmıştır. Uygulanan yöntem ise bu bölümü takiben açıklanacaktır. Arazide yapılan stabilite analizleri yine bu bölümde anlatılan konulardan biridir.

3.1 Arazi Gözlemleri ve Otomatik İstasyon Yerinin Seçimi

Bu bölümde arazide otomatik istasyon yerinin seçilmesi ile ilgili çalışmaların bazı ayrıntıları üzerinde durulacaktır. Projenin başlamasını takiben 2014 Kasım ayında bir arazi çalışması gerçekleştirilmiştir.

Proje pilot alanı olan İzmir Bozdağ Kayak Merkezine Proje Yürütücüsü Ö. Koçyiğit, araştırmacılar E. Tekin ve G. Arslan ile birlikte 21 – 24 Kasım 2014 tarihleri arasında ilk arazi ziyareti gerçekleştirilmiştir. Arazi ekibi 22 Kasım 2014 tarihinde Bozdağ'ın kuzey yüzü eteğine araçla ulaşmıştır. Dağın kuzey yüzü Kayak Merkezi ve Kayak pistlerini barındırmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Bozdağ Kayak Merkezi

Kayak Merkezinin hemen yanında koyun sürüleri ve çobanların olduğu görülmüştür. Çobanlarla bir süre sohbet ederek onların uzun süredir bu bölgede yaşadıkları öğrenilince bölgedeki kar yağışı, rüzgâr durumu ve çığ gelen patikaların yerleri ile ilgili yerel bilgiler alınmıştır. Dağın kuzey yüzünden zirveye araçla çıkmak mümkün olamamıştır.



Şekil 9. Çığ sebebiyle eğrilen kar direği



Şekil 10. Parçalanan çığ önlem yapıları

Yağmur sularının yolda derin kanallar oluşturması nedeniyle hali hazırda bozuk olan yol şartları daha kötü hale gelmiştir. Bu sebeple ekip dağa yürüyerek çıkma kararı almıştır. Sıcaklık kayak merkezinin bulunduğu yerde +3°C iken yürüyüşe başlanmıştır. Bozdağ zirveye yaklaşılırken çığ gelen alanlarda kar direklerinin eğildiği tespit edilmiştir (Şekil 9). Önceki yıllarda inşa edilmiş olan ahşap çığ önleme yapılarının düşen çığ karşısında yetersiz kaldığı net olarak gözlenmiştir (Şekil 10).

Bu yapılar ahşap tomruk ve 2 cm çaplı çelik vida bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Kopan çelik vida ve parçalanmış ahşap tomruklar kayak merkezine kadar uzanan çığ akma hattı boyunca muhtelif yerlerde görülmüştür. Artan yükseklikle birlikte sıcaklık aniden düşmüş, rüzgâr şiddetini artırmıştır. Zirvede sert rüzgâr nedeniyle ayakta durmak bile güçleşmiştir. Karşılaşılan bu hava şartları ile proje kapsamında alınan dağlık araziye uygun giyim malzemelerinin ne kadar gerekli olduğu görülmüştür (Şekil 11).



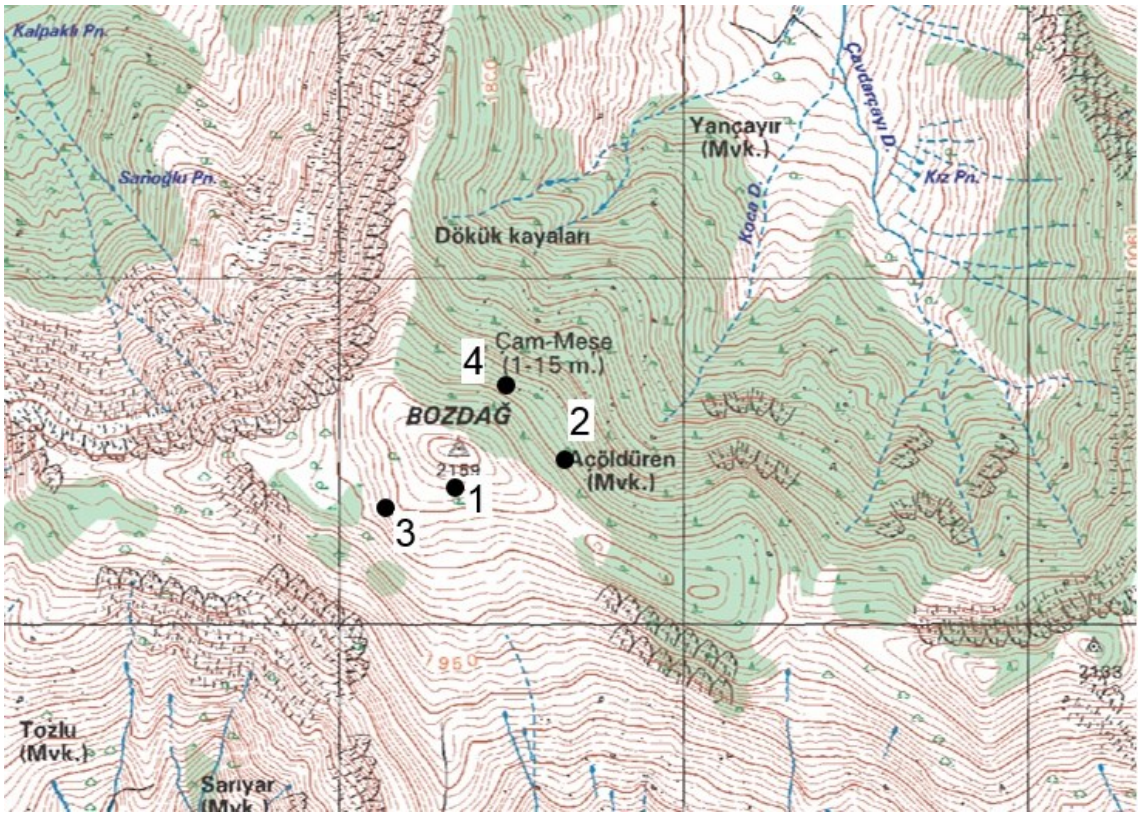
Şekil 11. Zirve bölgesinde karşılaşılan olumsuz hava şartları

Zirve bölgesinde sis ve bulutların bulunması görüş alanını son derece kısıtlamıştır. İstasyon yerinin seçilmesi için rüzgâr ve kar yüksekliği açısından uygun olabilecek alanlar belirlenmiştir. Buna göre Tablo 4'te koordinatları belirtilen yerler istasyon kurmaya elverişli gözükmektedir.

Tablo 4. İstasyon için belirlenen muhtemel koordinatlar

No	Kuzey	Doğu	Yükseklik (m)	Açıklama
1	38°19'24.54"N	28° 6'6.89"E	2132	Telesiyej istasyonu karşısında olan tek direk
2	38°19'16.61"N	28° 6'23.49"E	2070	Zirve sırtında bulunan patika
3	38°19'23.61"N	28° 6'2.62"E	2130	Zirve bölgesi güney yüzü
4	38°19'27.10"N	28° 6'10.88"E	2095	Zirve telesiyej yakını

Uygun olmayan hava şartları nedeniyle detaylı inceleme yapılamadığından zirveye yeniden çıkılması gerekliliği doğmuştur. Ertesi gün dağın güney yüzünden zirveye çıkılmıştır. Böylelikle dağın tüm etrafını tanıma şansı bulunmuştur. Araçla bu sefer 1900 m kotuna kadar çıkılıp devamında zirveye yürünmüştür. Hava şartları sıcaklık ve sis açısından daha elverişli bir günle karşılaşılmıştır. Bir önceki gün sis ve bulutlar yüzünden görülemeyen coğrafya şartlarını görme fırsatı bulunmuştur. Çalışma sonunda belirlenen Tablo 4'te belirtilen uygun istasyon koordinatları bölgeye ait harita üzerinde işlenmiş ve Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Muhtemel istasyon noktaları

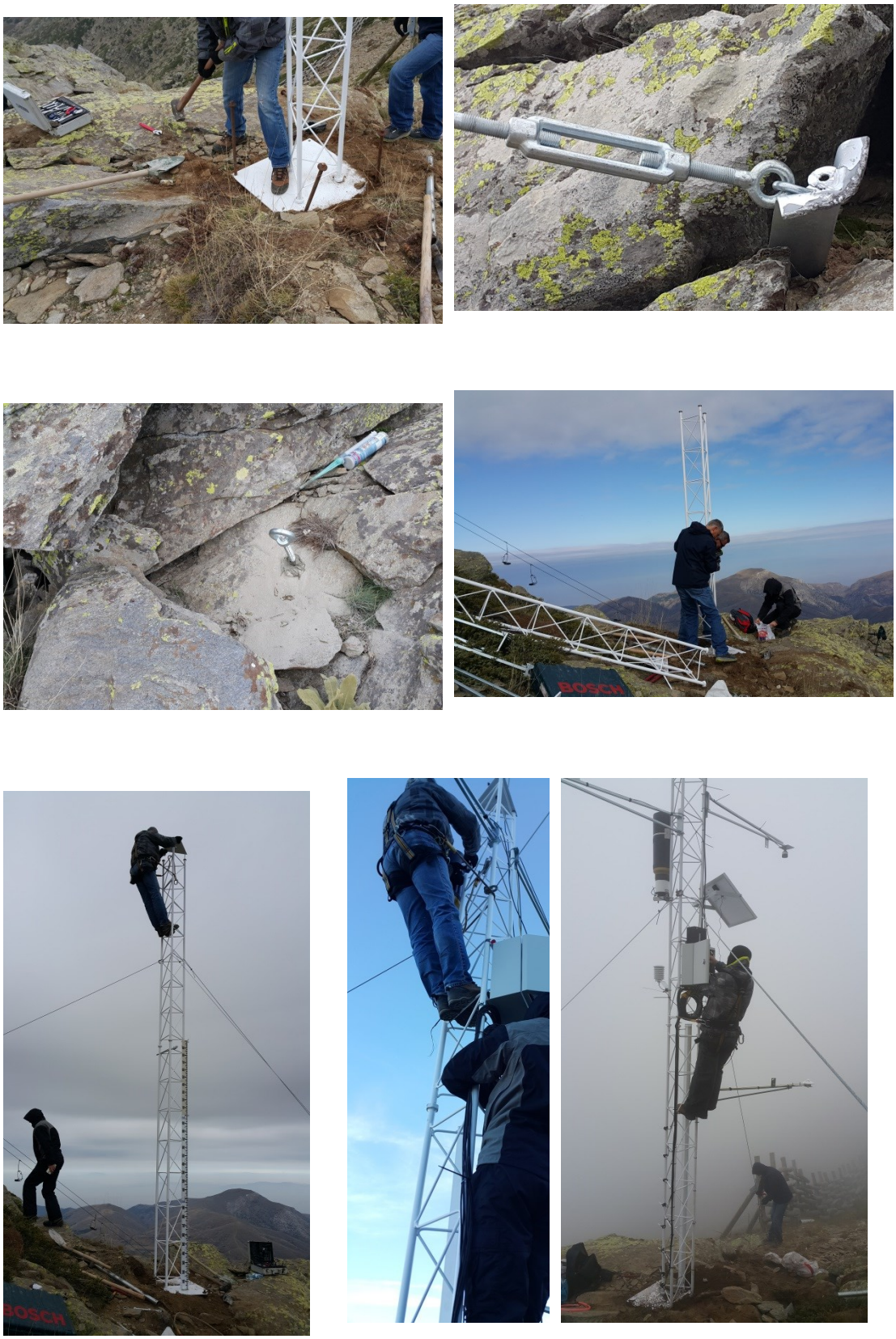
Şekil 12'de belirtilen istasyon yerlerinden 3 no.lu muhtemel istasyon yeri dağın güney yüzünde kalmaktadır. Buradaki kar ve rüzgâr şartları çığ oluşturan topoğrafyayı yansıtmadığından bu nokta elenmiştir. 1 no.lu muhtemel istasyon yeri ise zirve üst noktasında bulunmaktadır. Sürekli rüzgâr almakta ve kürtüne maruz kalmaktadır. 4 no.lu muhtemel istasyon yeri ise telesiyej direklerine yakındır. Bu sebeple buraya kurulacak istasyon için uygun bir nokta değildir. 2 no.lu nokta ise dağın kuzey yüzüne bakmaktadır. Çığ oluşturan koşullarla aynı topoğrafyada

bulunmaktadır. Kar kürtünü oluşmayacak rüzgâr şartları hakimdir. Bu alan çığ patikasının başlangıcında yer almasına rağmen kayalık bir oluşum tarafından çığ oluşması engellenmektedir. Etrafında kaya bloklar yer aldığından istasyonun ankrajlarını yerleştirmek için uygun koşullar sağlamaktadır. Dolayısıyla çığdan görece korunaklı bir alandadır. Bu sebeple 2 no.lu noktaya istasyonun kurulmasına karar verilmiştir.

3.2 Otomatik Çığ İstasyonunun Arazide Kurulumu

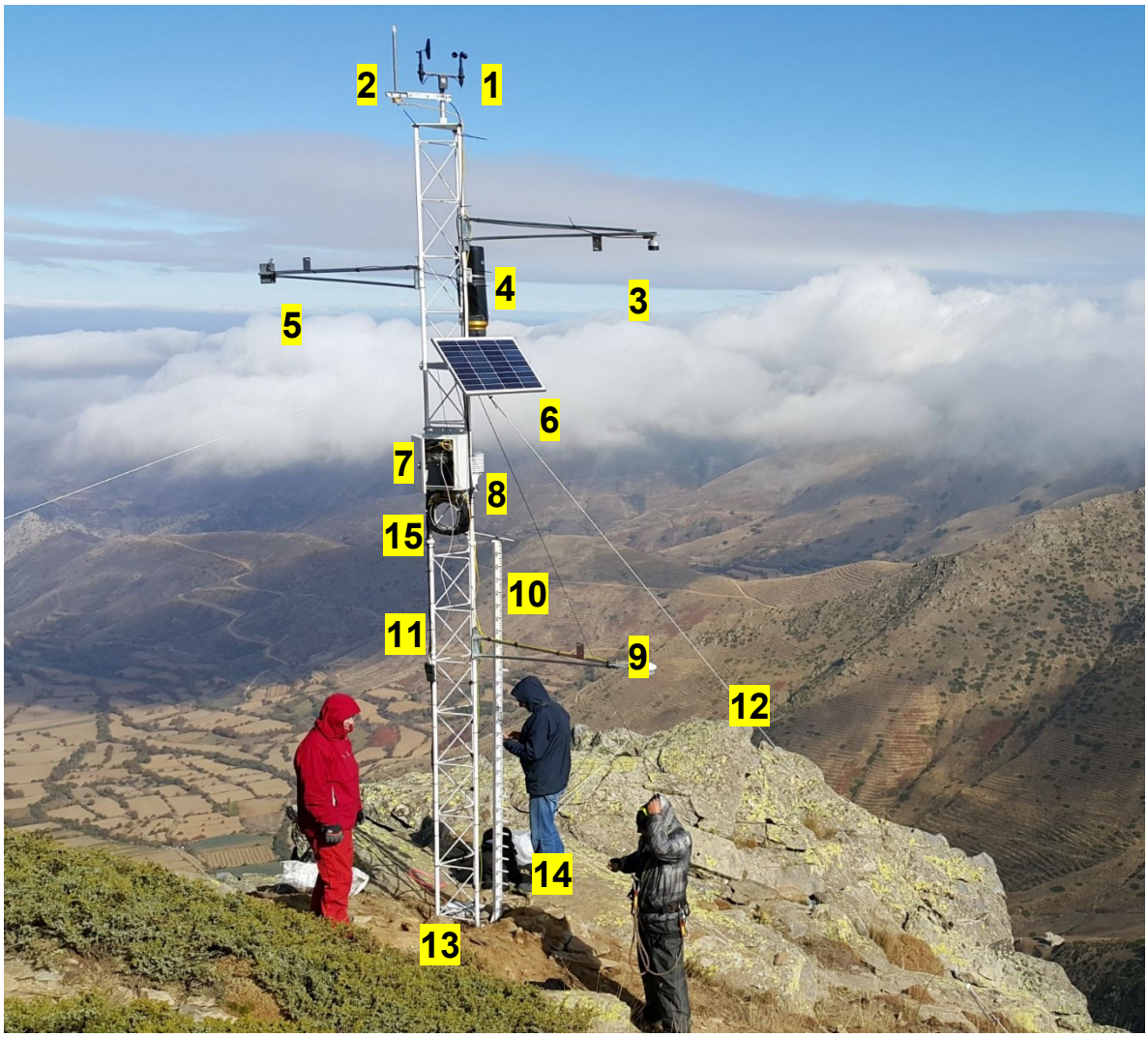
Proje iş-zaman çizelgesinde belirtilen İP5 ve İP6 Otomatik istasyonun kurulması, çalıştırılması, test edilmesi ve verilerin bilgisayar ortamına işlenmesi bölümünde, dönem içindeki idari gelişmelerde açıklandığı üzere otomatik istasyonunun kurulumu, yasal izin süreçlerinden dolayı beklenenden daha uzun sürede gerçekleşmesi mümkün olmuştur. Bununa birlikte bu konuda tüm çaba sarf edilerek 2015/16 kış mevsimi öncesi Aralık 2015 ayı başlarında istasyonun arazi üzerine kurulumu planlanan şekilde gerçekleştirilebilmiştir.

Otomatik çığ istasyonu arazide Şekil 12'de belirtilen ve koordinatları Tablo 4'te verilen 2 numaralı noktada kurulmuştur. Kurulum iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada 6 m'lik ana direk, cihaz ve sensörlerin yerlerine montajı, ikinci aşamada gerekli kablo bağlantılarının hazırlanması, takılması ve son olarak işletime başlanmasıdır. Hava koşullarının çalışmaya uygunluğu oldukça önemli bir konudur. İstasyon aplikasyonu, ankrajlar ile tespit, ana taşıyıcı kafes sistemin yerleştirilmesi ve montajı, cihazların montajı ve kontrol paneline bağlantılarının gerçekleştirilmesi aşamaları Şekil 13'te gösterilmiştir. İstasyonda ölçülebilecek en büyük kar yüksekliği 5,5 m'dir. Kar direklerinde oluşacak rüzgâr kuvveti ve kar direği üzerindeki buzlanmanın etkileri nedenleriyle stabilite sorunları yaşanabileceğinden 6 m'lik direğin yeterli olacağı kanaatine varılmıştır. Stabilite öncelikle düşünülen husus olduğundan ana direk 6 noktadan ankrajlanmıştır. Kaya zemin uygun olduğundan kayaya yapılan ankrajların direk stabilitesinde yeterli olacağı düşünülmektedir. Güvenlik açısından ikinci husus yıldırım konusudur. Bu nedenle istasyon tasarımında paratoner düşünülmüştür. Bir yıldırımsavar inşa edilmiştir.



Şekil 13. İstasyonun kurulum aşamaları

Otomatik çığ istasyonu ile yapılacak rasatta mümkün olan en fazla verinin alınması için gayret gösterilmiş bu nedenle bir çığ istasyonunda gerekli birçok veri alınmaya çalışılmıştır. Kurulan istasyon içerisinde kullanılan ürünler dağ iklimine uygun koşullarda ölçüm alabilecek şekilde seçilmiştir. İstasyon tümüyle proje ekibinin bir tasarımı olup herhangi bir uygulama örnek olarak kullanılmamıştır. Proje kapsamında kurulan istasyonun bileşenleri Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Otomatik Çığ İstasyonu ve bileşenleri

1.Anemometre (Rüzgâr hızı ölçer) ve Rüzgâr yönü ölçer

2.Yıldırım koruma (paratoner)

3.Kar yüksekliği ölçüm sensörü

4.Sıvı yağış ölçer ve yağmur ölçer

5.Yüzey sıcaklık sensörü

6.Güneş paneli

7.Kontrol paneli (akü, data logger, veri depolama kartları vb.)

8.Hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer

9. Gelen ve Yansıyan Radyasyon (albedo) ölçer

10.Manuel eşel

11.İstasyon ana taşıyıcı kafes sistem

12.Gergi halatları

13. Paratoner topraklama bağlantısı

14. 8 adet kar sıcaklığı ölçüm sensörleri

15.Veri kabloları

İstasyon güneş panelleri sayesinde güneş enerjisini bir aküde biriktirmekte ve 14.1 volt enerji kapasitesi ile işlev görmektedir. Ölçüm parametreleri; rüzgâr hızı ve yönü, kar yüksekliği (maksimum 5,5 m), kar yağış miktarı, yağmur yağışı, hava sıcaklığı ve bağıl nem, gelen ve yansıyan güneş radyasyonu, albedo değeri, yüzey sıcaklığı ve 8 noktada kar örtüsü içerisindeki kar sıcaklıklarıdır. 8 noktada alınan belirli kar seviyelerinde sıcaklık ölçümleri zeminden itibaren her 20~25 cm de bir ölçüm alınacak şekilde yerleştirilmiştir. Cihazlardan veya sensörlerden alınan ölçümler özel kablolar vasıtasıyla kontrol panelinde bulunan ana kontrol ünitesine gönderilmektedir. Ölçüm cihazları ve sensörlerin istasyondaki konumları Şekil 14'ten takip edilebilir. Tüm veriler her 10 dakikada bir Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde kurulan bir sunucuya aktarılmaktadır. Veriler uzaktan erişim ve aktarma hattı olan Türkcell M2M hattı kullanılarak ve bir yazılım sayesinde elde edilmektedir. Aynı zamanda veriler istasyon kontrol paneli içerisinde bulunan depolama cihazına da kaydedilmektedir. İletişim alanlarında yaşanabilecek bir sıkıntı durumunda kaydedilmiş rasatlara kontrol panelinde bulunan depolama cihazından da erişilebilecektir. Verilerin çekilmesi ve depolanması için kullanılan yazılımın adı *LoggerNet*'tir. Yazılım istasyondan gelen verileri sadece depolamak amaçlı değil kaydedilen verileri kullanarak birçok analizi de gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Sahadan alınan ölçümlere ait örnekler rapor ekinde sunulmaktadır.

Klasik meteoroloji istasyonlarında genellikle istasyon çevresine bir set çekilmektedir. Fakat bu çalışmada istasyon çevresinde kar örtüsündeki dağılımı etkileyecek herhangi bir yapı düzenlenmemiştir. Özellikle oldukça eğimli arazide böyle bir setin çekilmesi mümkün olmadığı gibi kar ölçümü açısından da sakıncaları mevcuttur. Ana direk çevresinde kar dağılımını etkileyecek herhangi bir engelin bulunmaması gerekmektedir. Bu nedenle istasyon ana direği çevresinde doğal olmayan herhangi bir yapı inşa edilmemiştir.

Otomatik çığ istasyonunda elde edilecek en önemli parametrelerden birisi kar yüksekliği olacaktır. Kısa sürede yüksek miktarda oluşabilecek kar yükseklikleri çığ oluşumu için en

önemli parametrelerden birisidir. Bu nedenle kar derinliğinin zaman zaman kontrol edilmesinde fayda vardır. Bu nedenle zaman zaman gözle yapılacak bir rasat için istasyona bitişik (Şekil 14'te 10 numaralı eşel) eşit dereceli eşel monte edilmiştir. Bu sayede elektronik ölçümün bir kontrolü de yapılmış olacaktır.

3.3 Otomatik Çığ İstasyonunun Tanıtımı

Şekil 14'te bileşenleri isimlendirilmiş otomatik çığ istasyonunun her bir bileşeninin özellikleri burada ayrıntılı açıklanmıştır.

Anemometre (rüzgâr hızı ölçer) ve rüzgâr yönü ölçer

Anemometre 0-50 (m/sn) arasında yerden 6 m yükseklikteki rüzgâr hızını ölçmektedir. 0.5 m/s hassasiyete sahiptir. Rüzgâr yön aleti ise 360 derece dönebilen, 5 derece hassasiyetle rüzgâr yönünü kaydedebilen bir cihazdır. Projede kullanılan anemometre ve yön cihazı Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Rüzgâr şiddeti (Anemometre) ve yön ölçüm cihazları

Yıldırımdan koruma (paratoner)

Sistemi yıldırıma karşı koruma amaçlı paratoner kurulmuştur. Gelen yüksek gerilimi zemine aktarmak amacıyla topraklama sistemi kurulmuştur.

Kar yüksekliği ölçüm sensörü

Ses dalgalarının yansıması prensibi ile çalışır. Şekil 16'da verilen kar sensörü konik bir açılımla, kar derinliğini düşey aşağı yönde birkaç noktadan tespit ederek ortalama değeri kaydetmektedir. Bazı özellikleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 Kar sensörü teknik özelikleri

Özellikler	
Ölçüm zaman aralığı	<1.0 sn
Gerekli güç kaynağı	9-18 Vdc
Güç tüketimi	250 mA
Ölçüm aralığı	0,5-10.0 m
Hassasiyet	±1,0 cm
Çalışma sıcaklık aralığı	-45 °C den +50°C 'ye kadar
Ağırlığı	1 kg.



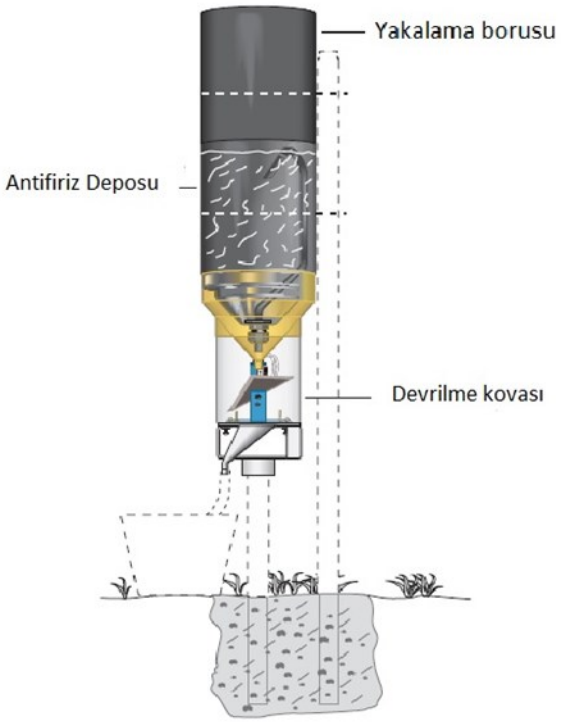
Şekil 16. Kar yüksekliği ölçüm sensörü

Sıvı yağış ölçer ve yağmur ölçer

Kar –Sıvı Yağış Sensörü

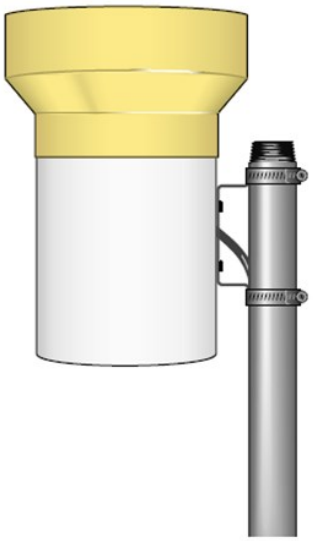
Yağışı (Sıvı miktarı olarak) ölçmek için kullanılan cihaz antifriz deposu, akım borusu ve yakalama borusundan oluşmaktadır. Kar yağışı antifriz sayesinde sıvı halde yakalanır ve ölçülür. Erimiş kar, kapta bulunan antifriz ve su karışımının seviyesini yükseltir. Sıvı miktarı

devrilen kova mekanizması ile ölçülmektedir. Bu mekanizma, iki kısma ayrılmış bir üçgen konik kesitli bir kabın (kovanın) her bir bölümünün sıvı ile dolması durumunda dengesinin bozularak içindeki sıvıyı aşağı yöne dökmesi ve bir sinyal göndermesi şeklinde çalışan bir sistemdir. Boşalan kısım aşağı yönde devrilince kabın (kovanın) diğer bölümü yukarı yöne hareket eder ve yeni gelecek olan sıvı bu bölmeye dolar. Sistem bu döngü ile devamlı çalışmaktadır (Şekil 17).



Şekil 17. Yağış (sıvı) ölçüm cihazı

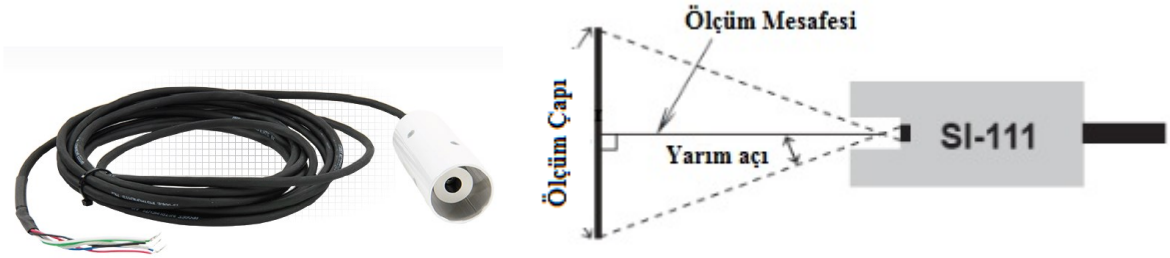
Devrilen kova tipi yağmur miktarı ölçümü kaydeden cihaz 0°C ile 50°C arasında çalışmaktadır. 1 inch/hr yağış şiddetinde ölçüm % ±1, daha şiddetli yağışlarda ise % ±2,5 hassasiyet ile çalışmaktadır (Şekil 18).



Şekil 18 Yağmur miktarı ölçüm cihazı

Yüzey sıcaklık sensörü

SI-111 kodlu sensör, sıcaklık ölçülecek yere temas etmeden yüzeyin sıcaklığını infrared ışınımı teknolojisi yardımıyla tespit eder. Bu sensör -55 °C ile 80 °C arasında çalışabilmektedir. Hem ölçüm yapılacak yüzeyin sıcaklığını hem de sensörün kendi sıcaklığını kaydedebilmektedir. -10 °C ile 65 °C arasında ± 0,2 °C doğrulukla kayıt alabilmektedir. Şekil 19'da belirtilen yarım açı araziyi görme açısı olup 22 derecedir. 0 ile %100 bağıl nem aralığında çalışmaktadır.



Şekil 19. Yüzey Sıcaklık Sensörü ve Ölçüm Mesafesi Açıklaması

Güneş paneli

Enerji kaynağı olarak standart güneş paneli kullanılmıştır. Güneş paneli 14.1 V'lik aküyü sürekli olarak beslemesi için planlanmıştır. Panel, Güneş'i en verimli kullanacak şekilde araziye yerleştirilmiştir. Arazide kurulmuş olan istasyon üzerinde mevcut güneş paneli Şekil 20'de gösterilmiştir.

Kontrol paneli (akü, data logger, veri depolama kartları vb.)

Kontrol paneli içerisinde akü, veri kaydedici (data logger) ve veri depolama kartları bulunmaktadır. Veri kaydedici 100 Hz hızında, 4 Mb hafızaya sahip, kendi iç sıcaklığını gösteren, bir kayıt numarası ile verileri kaydedebilen, ana güç kaynağına bağlantı sağlayamasa dahi zaman ve alınan verileri koruyabilme özelliğine sahip, belirli aralıklarla alınan ölçümlerin ortalamalarını M2M veri hatları kullanılarak kablosuz bir şekilde ana sunucuya gönderebilme özelliklerine sahiptir. 12V ile çalışabilmektedir. Arazide doğrudan ölçümler kontrol edilmek istenirse ekrana sahip bir kumandadan yararlanılmaktadır. Tüm veriler ek olarak bir hafıza kartına da yedeklenmektedir. Herhangi bir iletişim sorunu veya verilerin aktarılması ile ilgili başka bir problem yaşanması durumunda panel içerisinde yer alan karttan veriler elde edilebilmektedir. Arazide kurulmuş olan istasyon üzerinde mevcut kontrol paneli Şekil 20'de gösterilmiştir.



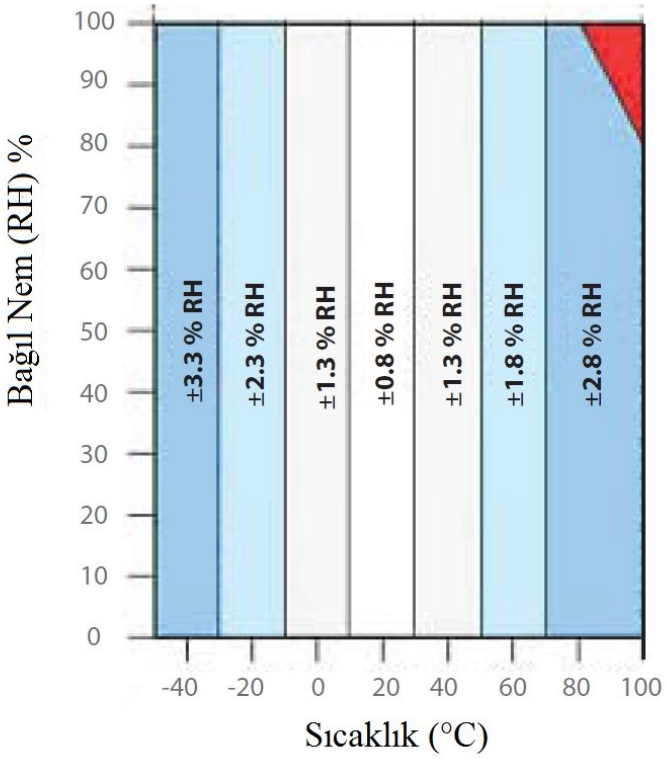
Şekil 20. Arazide Kurulan Otomatik İstasyon Üzerinde Kontrol Paneli ve Güneş Paneli

Hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer

Bağıl nem ölçümü için Rotronic IN1 sensörü ve sıcaklık ölçümü içim 100 ohm PRT kullanılmaktadır. Bu aletin doğru ölçümler yapabilmesi için yıllık kalibrasyonunun yenilenmesi gerekmektedir. Polietilen bir filtre ile korunaklı bir yapıya sahiptir (Şekil 21). Böylece toz, partikül ve su emilimi minimuma iner. -40 ile +100 °C arasında çalışmaktadır. 23 °C'de çalışma hassasiyeti ±0.1 °C'dir. Uzun dönemli düzenli ölçüm stabilitesi < 0.1 °C/Yıl'dır. Hava sıcaklığına bağlı olarak doğruluk derecesi Şekil 22'de verilmiştir.



Şekil 21. Hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer aleti

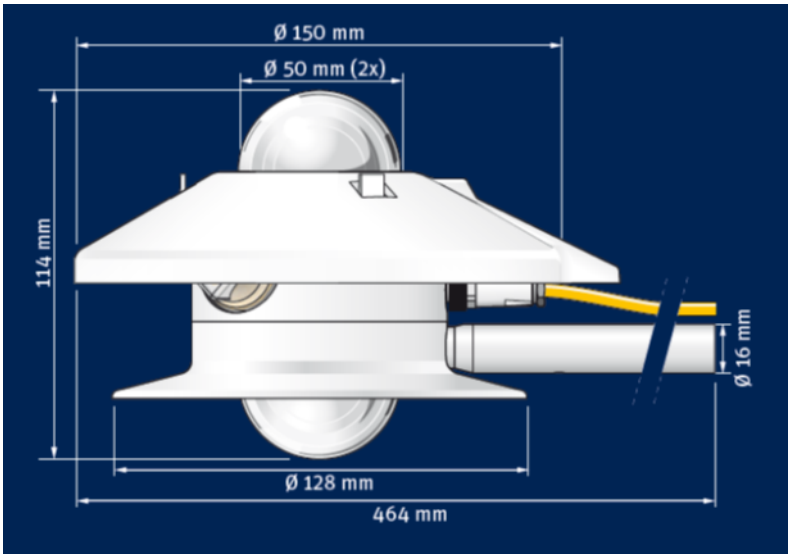


Şekil 22. Bağıl Nem (RH) Doğruluk Grafiği

Gelen ve yansıyan radyasyon (albedo) ölçer

Yüzeydeki albedo, güneşten gelen dalga uzunluğu 300 ile 3000 nanometre (nm) aralığındaki kısa dalga radyasyonunun yayılarak yansımasını ifade etmektedir. Albedo yansıyan radyasyonun gelen radyasyon miktarına oranı olarak ifade edilmektedir. Bu değer tamamen karanlıkta 0(sıfır), aydınlık durumu için 1 değerleri arasında değişir. Örneğin çimle kaplı bir yüzey için 0.15, kuru kum değeri için 0.5 ve taze kar için 0.8 değerlerini almaktadır. Albedo, meteorolojik, hidrolojik ve iklim araştırmalarında kullanılır.

Bu araştırma projesinde kullanılan ölçüm cihazı iki sensörden oluşmaktadır. Üst bölümde bulunan sensör gelen radyasyonu alt bölümde bulunan sensör ise altta bulunan yüzeyden yansıyan radyasyon miktarlarını ölçmektedir. Ölçümler W/m^2 birimine çevrilerek kaydedilmektedir. Projede kullanılan cihaz ISO 9060 ve IEC 60904 standartlarına uygun, gelen ve yansıyan radyasyon ölçümlerini kaydedebilmektedir. Cihaz ölçüleri ile birlikte Şekil 23'te gösterilmiştir.



Şekil 23. Albedo değeri ölçüm cihazı

Manuel eşel

Kar yükseklik ölçümlerinin manuel olarak ölçülmesi için eşel istasyon üzerine kurulmuştur. Bu sayede sensör vasıtasıyla elde edilen ölçümler kontrol edilebilecektir. Bazı dönemlerde arazi gözlemlerinden elde edilen kar yükseklik verileri sensör vasıtasıyla elde edilen verilerle kontrol edilebilecektir. Kurulan manuel eşel Şekil 24'te gösterilmiştir.



Şekil 24. Manuel Eşel

İstasyon ana taşıyıcı kafes sistem

Ana taşıyıcı kafes sistem 3 metrelik iki adet çelik profillerden oluşmaktadır. Profil kalınlıları yüksek rüzgâr hızlarına dayanacak şekilde ölçülendirilmiştir. Toplam yüksekliği 6 metredir. En yüksek kar seviyesi ölçüm yüksekliği 5.50 metredir. Ana taşıyıcı kafesi sisteminin arazide kurulumu Şekil 25'te gösterilmiştir.



Şekil 25. Ana Taşıyıcı Kafes Sistem ve Kurulması İşlemi

Gergi halatları

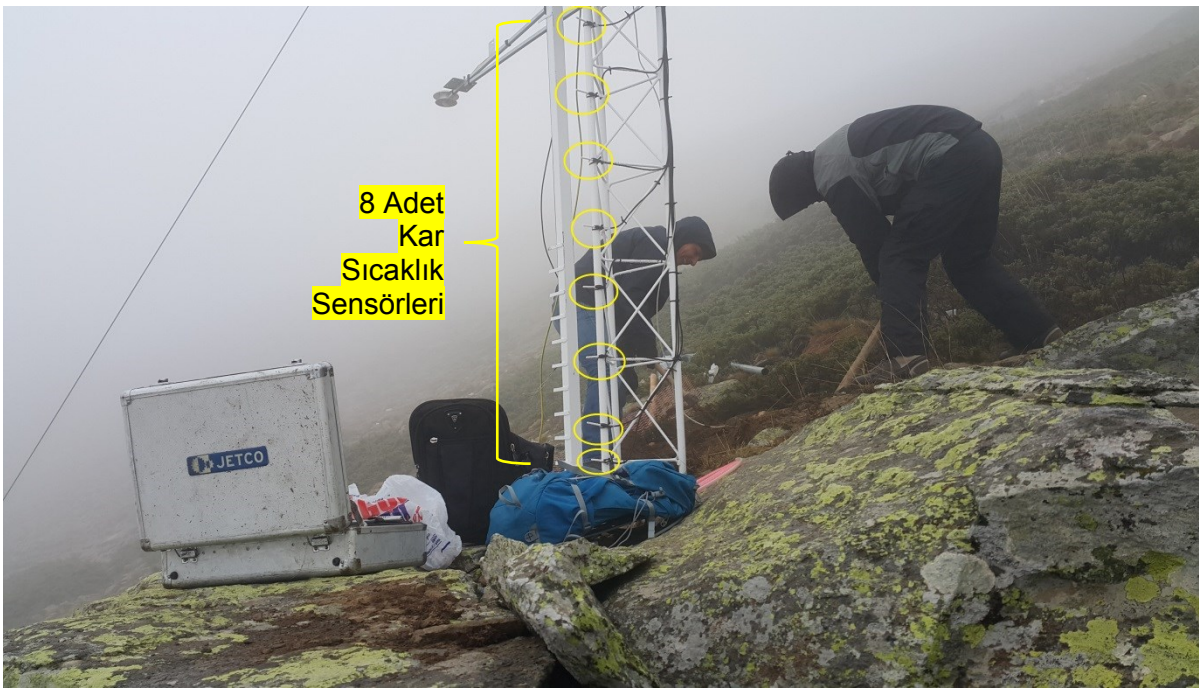
Sistemin stabilitesini sağlamak amacıyla ana taşıyıcı kafes sistem önce üç noktadan, daha sonra artırılarak altı noktadan çelik halatlar ile kaya zemine kimyasal dübel yöntemiyle ankraj yapılmıştır. Kış döneminde yapılan incelemede ankrajların stabilite açısından yeterli olduğu gözlenmiştir.

Paratoner topraklama bağlantısı

Yüksek gerilime maruz kalabilecek istasyon, yıldırıma karşı paratoner topraklama bağlantısı yapılarak korunmuştur.

Kar sıcaklık sensörleri (8 adet)

Kış döneminde kar tabakası içerisinde sıcaklık değişiminin tespiti çığ tahmini açısından önemlidir. Bu nedenle 8 adet sıcaklık sensörü kar tabakası içerisindeki sıcaklıkları ölçerek kayıt altına almaktadır. Bu sensörler Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. 8 Adet Kar Sıcaklık Sensörleri

Veri kabloları

Sensörler kendi özelliklerine göre kendilerine ait veri kablolarına sahiptirler. Sensör sayısı arttıkça veri kablolarının karmaşıklığı da artmaktadır. Bu nedenle istasyon kurulumu esnasında bu durumun önceden iyi planlanması gerekmektedir. Kabloların toplanmış hali Şekil 24'te kontrol panelinin altında görülmektedir.

3.4 İstasyondan Gelen Verilerin Toplanması ve İşlenmesi

İstasyonun kurulmasını takiben Turkcell M2M hattı ile veriler internet bağlantısı yadımı ile kablosuz bir şekilde Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde kurulan sunucuya aktarılmıştır. Bu bölümde kurulan sunucuda kullanılan program ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilecektir.

İstasyondan gelen verilerin masaüstü bilgisayar ortamına aktarılması için Campbell Scientific şirketi tarafından geliştirilmiş olan LoggerNet v4.3 yazılımı temin edilmiştir (Şekil 27). LoggerNet yazılımının içerisinde çalışan alt programlar şunlardır: *Setup, Connect, Status Monitor, Trouble Shooter, Shortcut, CRBasic Editor, RTMC Development* ve *View Pro* alt başlıklarıdır.



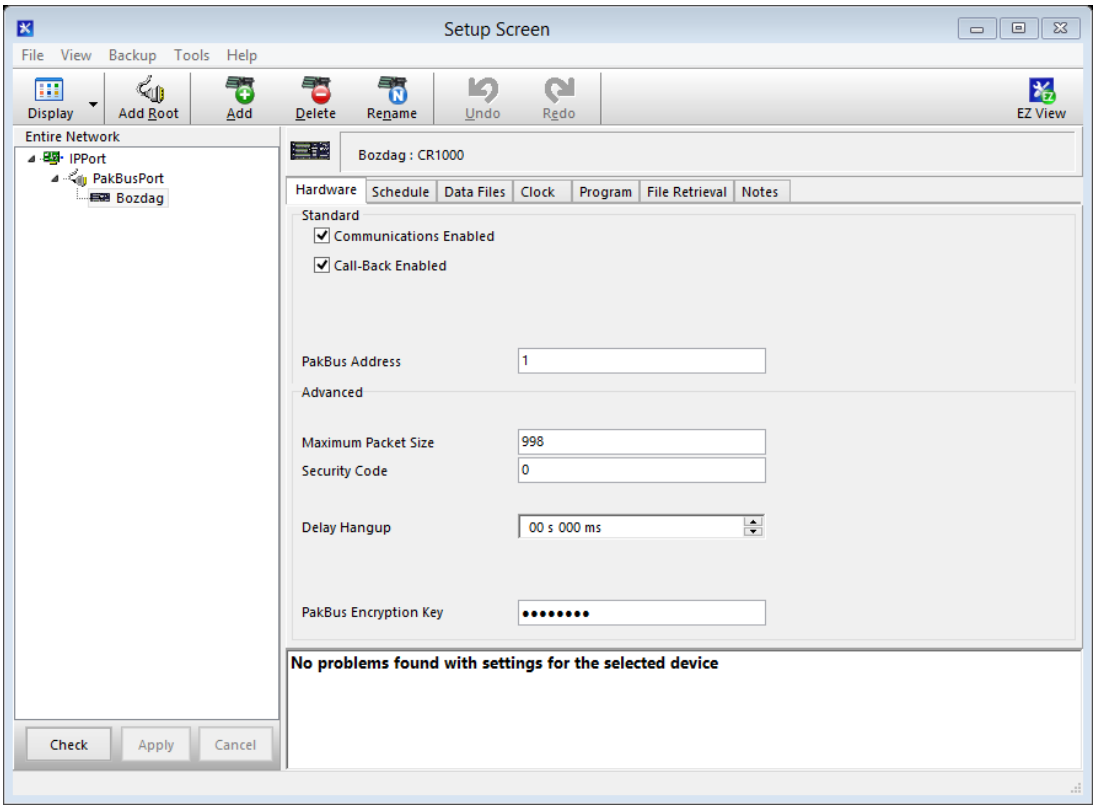
Şekil 27. LoggerNet v4.3 Yazılımı

Bu programlardan sadece Setup ve Connect tarafımızca kullanılmaktadır. Logger Net Setup (Şekil 28) ve LoggerNet Connect (Şekil 29) yazılımının ekran görüntüleri aşağıda verilmiştir.

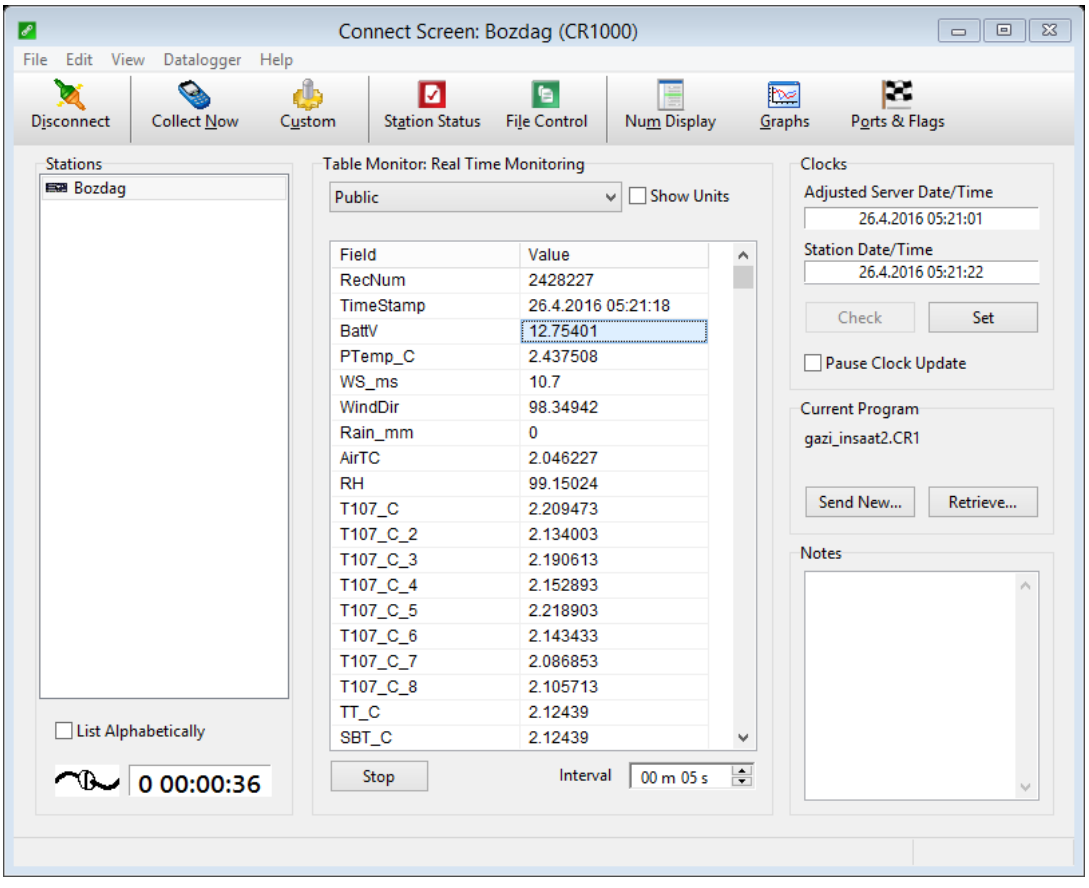
Şekil 28'de gösterilen yazılımda istasyonda bulunan veri toplama ünitesine bağlı bulunan modemin IP ve Port numarası girilmiştir. İstasyonda kayıt edilen veriler aşağıda sıralanmıştır:

- Rüzgâr Yönü (°)
- Rüzgâr Hızı (m/s)
- Albedo
- Sıvı yağışı (mm)
- Hava Sıcaklığı (°C)
- 8 Noktada Kar Sıcaklık (°C)
- Bağıl (Nispi) Nem (%)
- Kar Yüksekliği (cm)
- Yüzey Sıcaklığı (°C)

Veri toplama ünitesinde veriler hafıza kartına yazılmaktadır. İnternet üzerinden istenilen zamanda modemle bağlantı kurularak bu veriler LoggerNet Connect yazılımıyla masaüstü bilgisayara aktarılabilmektedir.



Şekil 28. LoggerNet Setup Yazılımı ekran görüntüsü



Şekil 29. LoggerNet Connect Yazılımı ekran görüntüsü

İstasyonda bulunan sensörlerden her 5 saniyede bir ölçüm alınmasına rağmen ölçüm hatasını minimuma indirmek için bu veriler kayıt edilmemiştir. Çünkü anlık verilerde muhtemel oluşabilecek hatalar yanlış sonuçlara götürebilir. Bu nedenle 5 saniyelik ölçümlerin ortalaması 10 dakikalık periyodlarla kayıt edilmiştir. Böylelikle bazı verilerin anlık değişkenliğinden meydana gelebilecek hatalı sonuçların önüne geçilmiştir. Örneğin rüzgâr yönünde anlık değişimler olabilmektedir. Bu nedenle 10 dakikalık periyod içerisinde alınan verilerin ortalaması en doğru rüzgâr yönünü verecektir.

3.5 Dinamik Simülasyon Yazılımının Tanıtımı

Bu proje kapsamında temin edilen RAMMS çığ programı içerisinde bir benzeşimin başarılı bir şekilde çalıştırılabilmesi için birkaç önemli hazırlığın yapılması gerekmektedir. Bunlar; topografik girdi verilerinin hazırlanması, proje sınır koordinatlarının belirlenmesi ve referans olarak kullanılacak haritaların önceden (“**.tif**” formatında ve “**.tfw**” dosyasında) hazırlanması olarak sıralanabilir. Coğrafik açıdan referans verilecek veri dosyasının Kartezyen koordinat sisteminde olması zorunludur. Program polar koordinat sistemini desteklememektedir.

RAMMS programı sayısallaştırılmış bir haritanın belirli bir alanı üzerinde seçilecek belirli bir bölgede çığ simülasyonlarını gerçekleştirebilmektedir. Bununla birlikte aynı harita içerisinde tanımlanan birden fazla senaryo da analiz edilebilir. Her bir senaryo için hesaplamalar ayrı ayrı yapılmaktadır. Yani senaryolar aynı anda çalıştırılabilir fakat analiz sonuçları farklı dosyalarda kaydedilmektedir. Bir proje üzerinde farklı senaryolar (girdi dosyaları) mevcutsa her bir senaryonun girdi parametrelerini içeren dosyalar (kopma alanları ve sürtünme parametrelerini içeren dosyalar) program kullanılarak hazırlanmalıdır. Temel topografik veri dosyası her bir senaryo için aynıdır. Eğer topografik veri dosyası değiştirilmek istenirse (proje sınır koordinatları ya da DEM çözünürlüğünün değiştirilmesi) yeni bir proje dosyası hazırlanması gerekmektedir. Diğer girdi verileri (sürtünme parametreleri, kopma alanları, çalışma alanı, çalışma alanında kullanılan çözüm ağı sıklığı, simülasyon bitiş süresi, çözüm süresi aralığı vb.) her bir senaryo için değiştirilebilir.

Senaryoları planlanan simülasyonların gerçekleştirilmesi için ilk yapılacak işlem topografik verilerin programa aktarılmasıdır. Topografik verilerden kasıt ASCII formatında X, Y, Z koordinatları şeklinde hazırlanan sayısal yükseklik haritalarıdır. Programda bu haritalar DEM olarak kısaltılmış şekli ile ifade edilmiştir. DEM dosyaları çözünürlüğe bağlı olarak hassasiyet kazanır. Bu hassasiyetin simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlara etkisi Bölüm 4.2.2’de anlatılmıştır.

Kopma bölgesinden ayrılarak yamaç aşağı hareket edecek olan kar kütlesi miktarı RAMMS programının bir diğer önemli girdi verisidir. Programda görülen harita üzerinde poligon seçimi

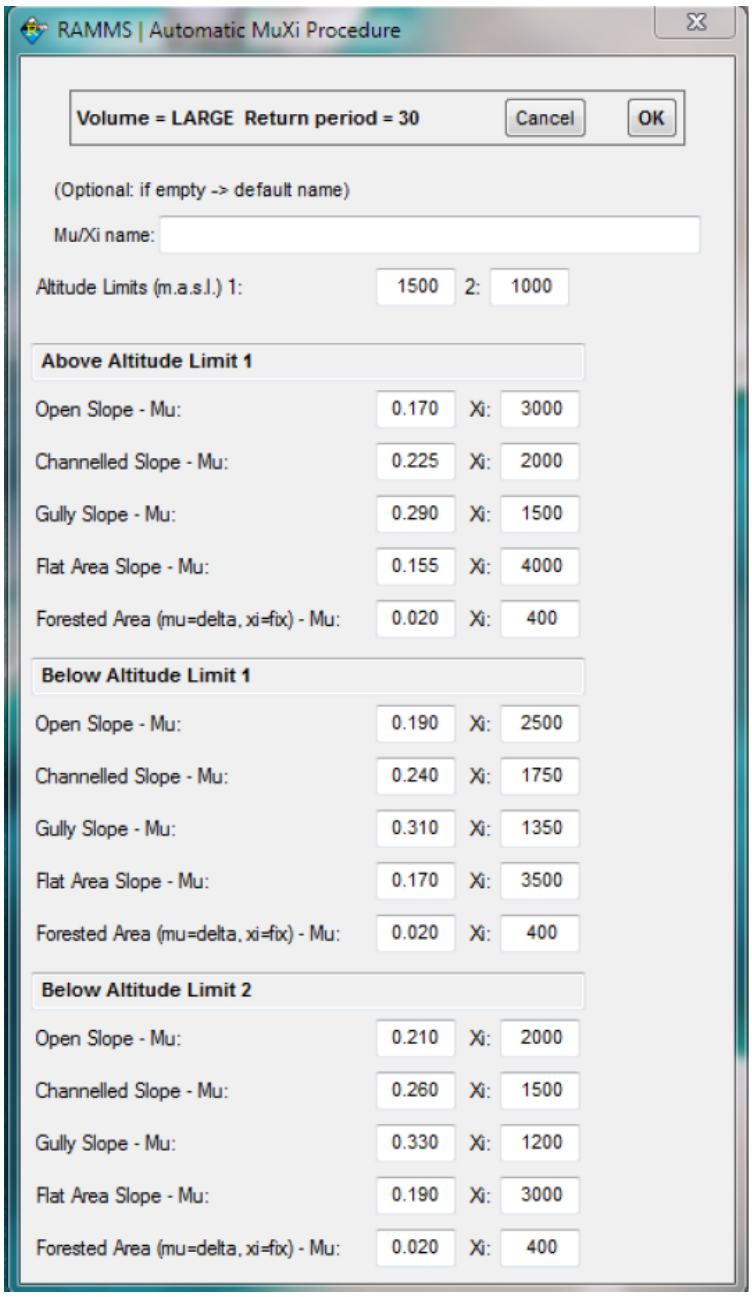
şeklinde kopma bölgesi rahatlıkla belirlenebilmektedir. Seçilecek bölgenin büyüklüğü senaryo sonuçlarını oldukça etkilemektedir. Çünkü kopma bölgesinde belirlenecek büyük bir kar hacmi sürtünme parametrelerini de doğrudan etkiler. Kopma bölgesi seçilirken arazinin şekli (topografyası) ve eğimi en önemli iki kriterdir. Harita üzerinde kopma bölgeleri çığ konusunda uzman kişiler tarafından belirlenmelidir. Programda belirlenen kopma alanı şekli program tarafından otomatik olarak bir dosyada saklanır ve istenirse herhangi bir CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) programında (Örneğin ArcGIS programında) tekrar açılabilir.

RAMMS programı içerisinde sürtünme parametreleri olarak Voellmy-Salm Salm (1966) yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre model, sürtünmeyi iki kısımda incelemektedir. İlki kuru-Coulomb tipi sürtünme katsayısıdır(μ). Bu sürtünme normal gerinmelerle orantılıdır. İkinci sürtünme parametresi ise hızın karesi ile orantılı viskoz-türbülanslı sürtünme parametresidir (ξ). Modelde kullanılan sürtünme direnci eşitliği ise Voellmy (1955)

$$S = \mu \rho H g \cos(\emptyset) + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

şeklindedir. Bu eşitlikte; ρ: Yoğunluk, g: Yerçekimi ivmesi, ∅: Eğim açısı, H: Akım yüksekliği, U: Akım hızıdır. Kayma yüzeyindeki normal gerilme, $\rho H g \cos(\emptyset)$ tek bir parametre olarak *N* şeklinde özetlenebilir. Voellmy modeli katı faz durumunu (μ, bazen içsel kayma açısının tanjantı olarak tanımlanır), viskoz ya da türbülanslı akış faz durumunu (ξ, Voellmy (1955) tarafından hidrodinamik etkiler dikkate alınarak önerilmiştir) olarak iki grupta incelenmiştir. Bu iki sürtünme katsayısı akımın davranışını belirlemede önemli rol oynarlar. μ, çığın durmaya yakın olduğu bölgelerde önem kazanırken ξ akımın hızlı olduğu bölgelerde etkilidir. Voellmy (1955) sürtünme modeli kütle hareketlerinin benzeşim uygulamalarında özellikle kar çığlarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu model kar çığlarının modellenmesi amacıyla İsviçre'de oldukça uzun bir süredir kullanılmaktadır. Bu parametreler için standart tablolar oluşturulmuştur. Bu değerler Şekil 30'da gösterilmiştir.

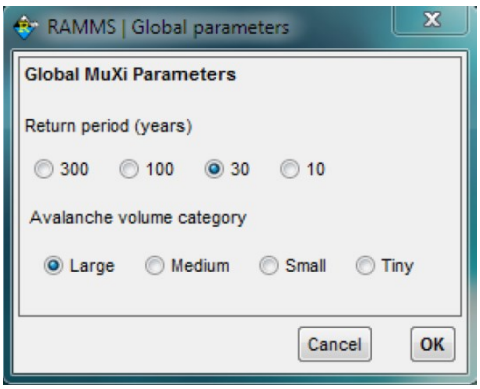
RAMMS programı sürtünme parametrelerini sabit ya da değişken alarak hesaplayabilmektedir. Eğer sabit sürtünme değerleri kullanılacaksa arazideki dalgalanmalar ve orman örtüsü dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle programın eğer mümkünse değişken sürtünme değerleri ile çalıştırılması önerilmektedir. RAMMS programı sürtünme değerlerini topografik veri analizine (eğim açısı, yükseklik ve eğrilik), bitki örtüsüne, çığ yineleme periyoduna ve çığ hacmine bağlı olarak sınıflandırmaktadır (Şekil 30). Ayrıca sürtünme parametreleri ASCII formatında kaydedilebilir ve CBS programlarından da çağrılabilir (SLF, 2013).



Şekil 30. Sürtünme Parametrelerini Değerleri SLF (2013, s. 22)

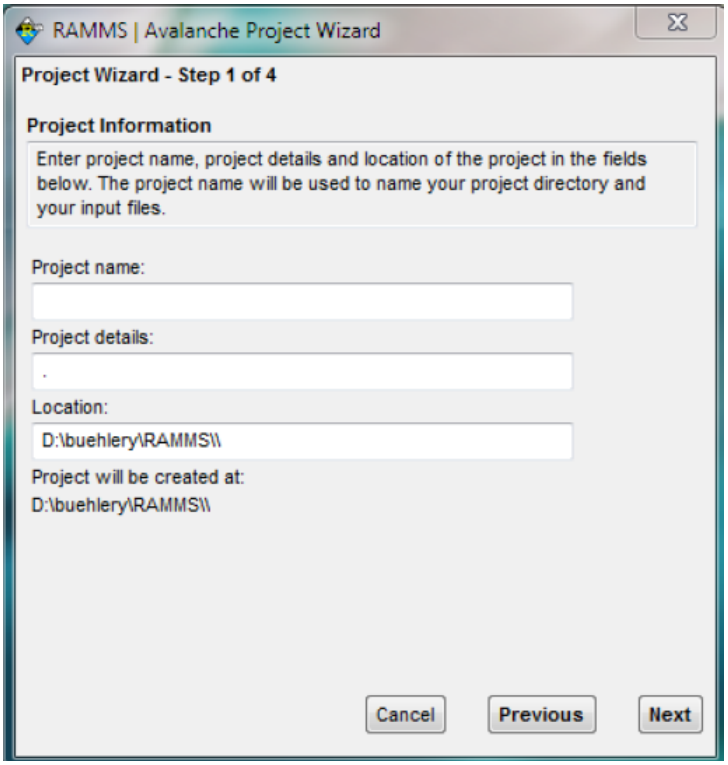
RAMMS programında *Global Parameters* olarak tanımlanan çığ yineleme periyodu ve çığ hacmi, sürtünme parametrelerinin belirlenmesi açısından zorunlu alanlardandır. İstenen parametreler Şekil 31'de verilen pencerede gösterilmiştir. Buna göre yineleme periyodu 10, 30, 100 veya 300 yıl olarak seçilebilmektedir. Bu değerler meteorolojik verilere ve tasarım yapılacaksa yapının önemine göre istenilen yıl, periyot olarak seçilebilir.

Orman örtüsü bilgisinin CBS ortamında mevcutsa programa girdi verisi olarak sağlanması önerilmektedir. ESRI ASCII Grid formatında 0: Orman örtüsü yok, 1: Orman örtüsü var şeklinde tanımlanabilir ya da poligon şekil dosyası tanımlanarak RAMMS programı içerisinde hazırlanabilir.



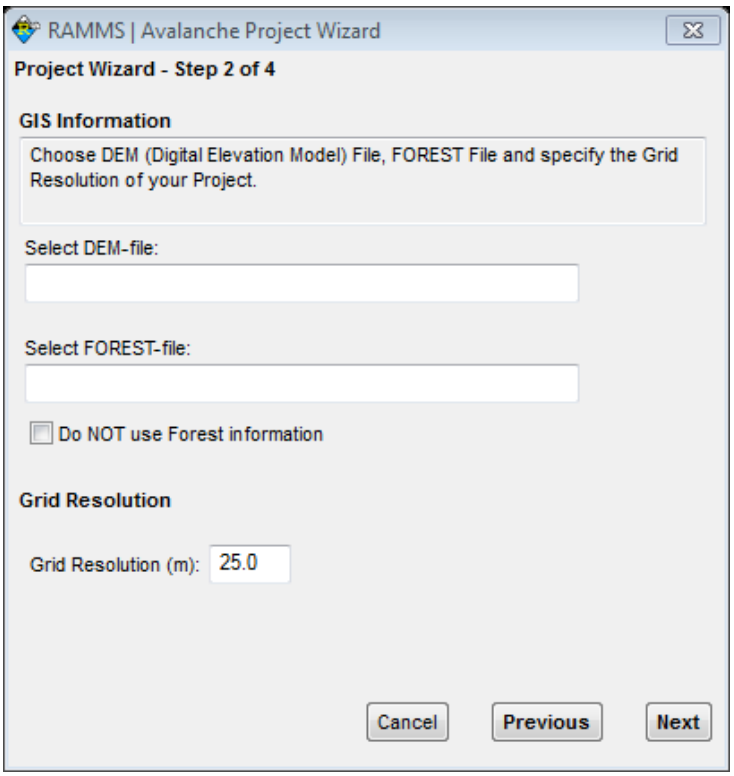
Şekil 31. Çığ Yineleme Periyodu ve Hacim Kategorisi SLF (2013, s. 23)

Herhangi bir simülasyonu gerçekleştirmek için programın ilk aşaması bir proje dosyası oluşturulması işlemidir. Bu işlem Şekil 32'de gösterilen pencere yardımıyla yapılır. Bu pencerede proje ismi, proje ile ilgili önemli detaylar ve projenin hangi adrese kaydedileceği bilgileri girilir.



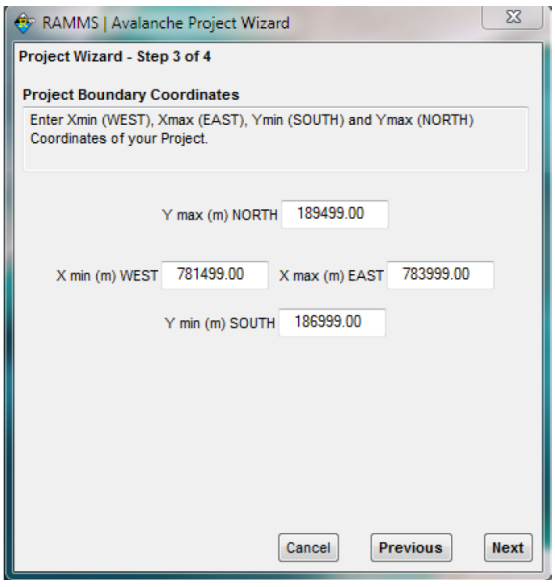
Şekil 32. Proje Dosyası Oluşturma Penceresi SLF (2013, s. 24)

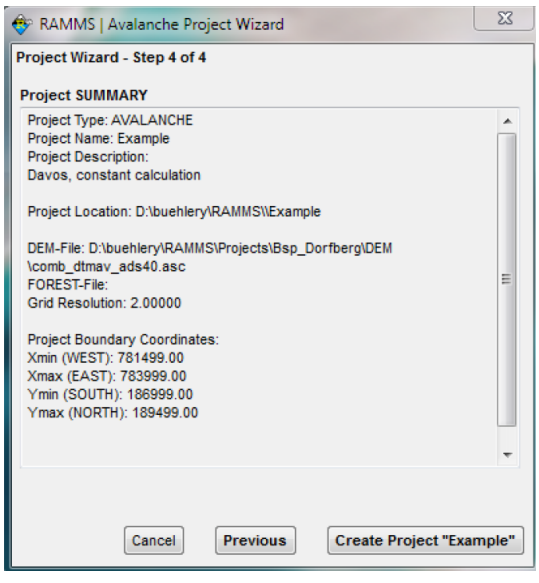
Bir sonraki aşamada, araziye ait DEM dosyası Şekil 33'te gösterilen pencerede belirtildiği gibi bulunduğu dosyadan çağırılarak programa aktarılır. Eğer orman örtüsü ile ilgili bilgi mevcutsa ilgili dosya yine aynı pencerede belirtilen bölümden yüklenebilir. Aynı pencerede orman örtüsü bilgisi kullanılmaması durumu için de bir seçenek mevcuttur.



Şekil 33. Sayısal Yükseklik Haritası ve Orman Bilgisi Girişi SLF (2013, s. 25)

Çığ simülasyonu gerçekleştirilecek araziye ait haritanın sol alt ve sağ üst köşesinin X-Y koordinatları ülke koordinat sistemi dikkate alınarak Şekil 34a' da verilen pencere yardımı ile programa tanıtılır. Şekil 34b'de ise yeni proje oluşturma aşamalarında girdi olarak verilen bilgilerin bir özeti program tarafından kullanıcıya özet olarak sunulmaktadır. Bu aşamada tüm kontroller yapılır ve proje dosyası hazırlama işlemi tamamlanmış olur.





a b

Şekil 34. Proje koordinatlarının belirlenmesi ve son kontrol penceresi SLF (2013, s. 26)

Simülasyonun gerçekleştirilebilmesi için bir sonraki aşama çalışılacak çığ hattı üzerindeki kopma bölgelerinin RAMMS programına tanıtılmasıdır. Çığ patikası; arazide çığın başladığı, aktığı ve durduğu alanı kapsayan bölgedir. Bu nedenle Şekil 35'te görüldüğü gibi büyük alanları kapsar. Çığ kopma bölgesi ise çığ patikasının üst kotlarında, araziden kopup harekete geçebilecek kar kütlesinin muhtemel alanlarını göstermektedir. Çığ kopma bölgelerinin tespitinden önce arazideki çığ hatları belirlenmelidir. Sonrasında bu hatların üzerinde muhtemel çığ kopma bölgeleri tespit edilebilir. Bu nedenle Başlık 3.5.1'de akma hatlarının nasıl belirlendiği anlatılmıştır. RAMMS programının analiz için ihtiyaç duyduğu kopma bölgelerinin nasıl tespit edildiği ise Başlık 3.5.2'de açıklanmıştır.

3.5.1 Pilot Bölgeyi Etkileyen Muhtemel Çığ Patikalarının Tespiti

RAMMS programında her bir çığ hattı ayrı simülasyonlar şeklinde incelenmelidir. Birbirlerine yakın hatlar mevcut ve birlikte akıyor ise RAMMS programı bu simülasyonları da gerçekleştirmektedir. Bir hattaki çığ simülasyonunu gerçekleştirebilmek için arazi gözlemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi programı olan ArcGIS programı yardımı ile üzerinde çalışılacak çığ hattı belirlenir. Bu hat aynı zamanda RAMMS programı üzerinde simülasyon yapılacak hattır. RAMMS programı sayesinde bu hat üzerinde farklı senaryolar düşünülerek simülasyon sonuçları elde edilebilir. Çığ hatları üzerinde belirlenen çığ kopma bölgeleri RAMMS programına aktarılır ve çığ kopma bölgesi RAMMS programında tanımlamış olur.

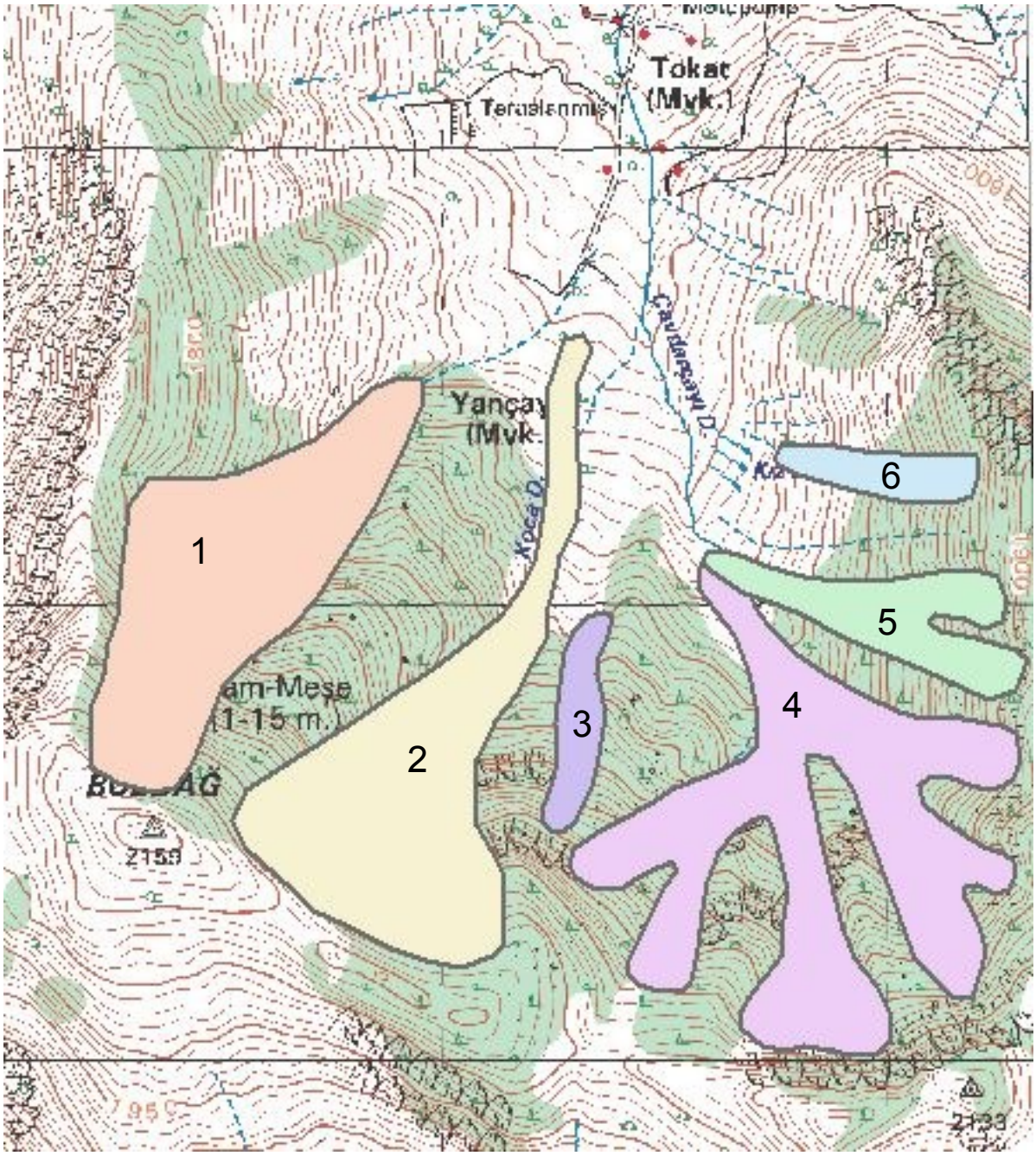
Çığ haritaları, çığ alanlarını gösteren topografik bazlı haritalardır. Bu haritalarda olmuş ve/veya olası çığ alanları, akma hatları ve çığ önlem yapıları işaretlenir. Çığın meydana geldiği veya gelebileceği tespit edilecek alanlar, sayısal haritalar ile arazi gözlemlerinden elde edilen bilgiler ile birlikte değerlendirilmeleri sonucu belirlenebilmektedir. Etkilenen çığ alanları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak yükseklik, eğim, bakı vb. gibi topografik özelliklerin incelenmesinden sonra hazırlanacak ilk haritalar ile birlikte arazi çalışmasına gidilir. Bölgeyi etkileyen çığ patikaları, akma hatları, vadiler, bitki örtüsü, kürtün oluşum noktaları, jeolojik yapı gibi bilgiler arazi gözlemleri sonucunda elde edilir. Bu bulgular ile hazırlanmış ilk haritalar birleştirilerek çığ haritalarına son şekli verilir. Pilot bölgeye ait sayısal haritaların temini, sayısal yükseklik modelinin (DEM) hazırlanması, coğrafi bilgi sistemini kullanan bir program üzerinde işlenmesi ve gerekli analizlerin yapılması (eğim, bakı, yükseklik, vb.) gerekmektedir.

Bu bölümde pilot bölgeyi etkileyen çığ patikalarının tespiti anlatılacaktır. İki adet arazi çalışması bu kapsamda gerçekleştirilmiştir. Pilot bölge olarak seçilen Bozdağ Kayak Merkezi'ni etkileyen çığ patikalarının tespitinde arazi gözlemlerinden yararlanılmış ve çığ haritası yukarıda bahsedilen süreçler izlenerek 1/25.000 ölçekte oluşturulmuştur (Şekil 35). Bölgeye ait sayısal haritalar temin edilmiş, sayısal yükseklik modeli (DEM) hazırlanmış, coğrafi bilgi sistemini kullanan bir program (Arc-GIS Ver.10.0) üzerinde bu veriler işlenmiş ve gerekli eğim, yükseklik,

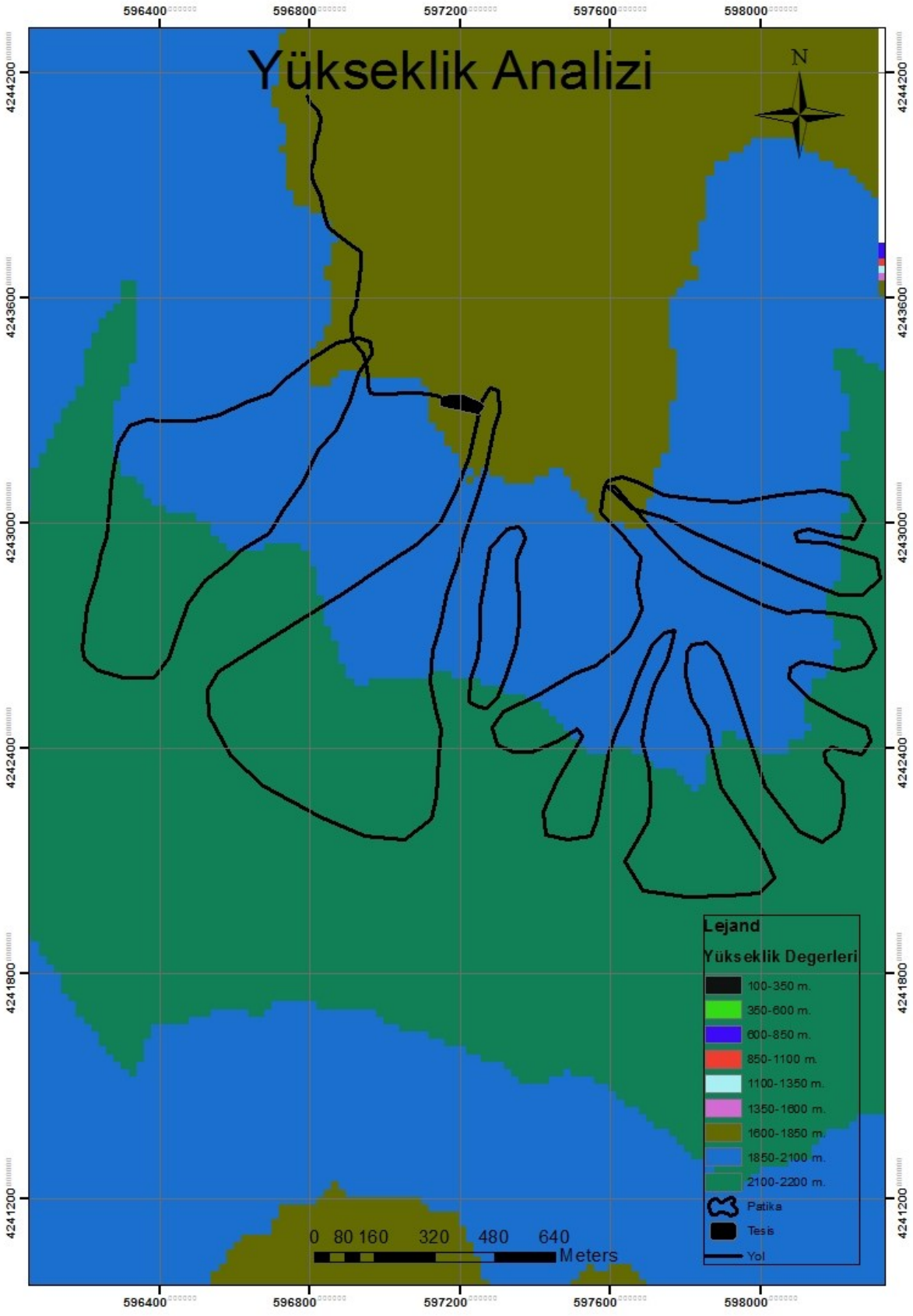
vb. analizleri gerçekleştirilmiştir. Yükseklik analizi Şekil 36'da, eğim analizi Şekil 37'de bakı analizi ise Şekil 38'de gösterilmiştir. Arazi çalışması, eğim, yükseklik ve bakı analizleri ile birlikte değerlendirilerek pilot bölge için 6 adet çığ patikası tespit edilmiştir. Bu patikalar Şekil 35'te gösterilmiş olup oluşturulma detayları aşağıda açıklanmıştır.

Bir çığ patikası üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; başlangıç, akma ve durma bölgeleridir. Bu bölgelerin doğru tespiti hem arazi gözlemleri hem de büroda yapılacak işlemler neticesinde tamamlanır. Burada öncelikle arazi gözlemlerinde izlenecek yol açıklanacaktır. Fakat arazi ziyareti öncesi bazı hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Örneğin araziye ait topoğrafik haritalar, varsa arazi ile ilgili diğer haritalar elde edilmeli arazide kullanılacak şekilde düzenlenmelidir. Arazi çalışması genellikle ulaşılması zor kotlarda, yüksek eğime sahip, kaya düşmesi, toprak kayması vb. tehlikeleri içerdiğinden mümkünse arazi çalışmasına uygun donanıma sahip olunmalıdır (Örneğin tam donanımlı arazi aracı, dağ kıyafetleri, telsiz, GPS cihazı, pusula vb.).

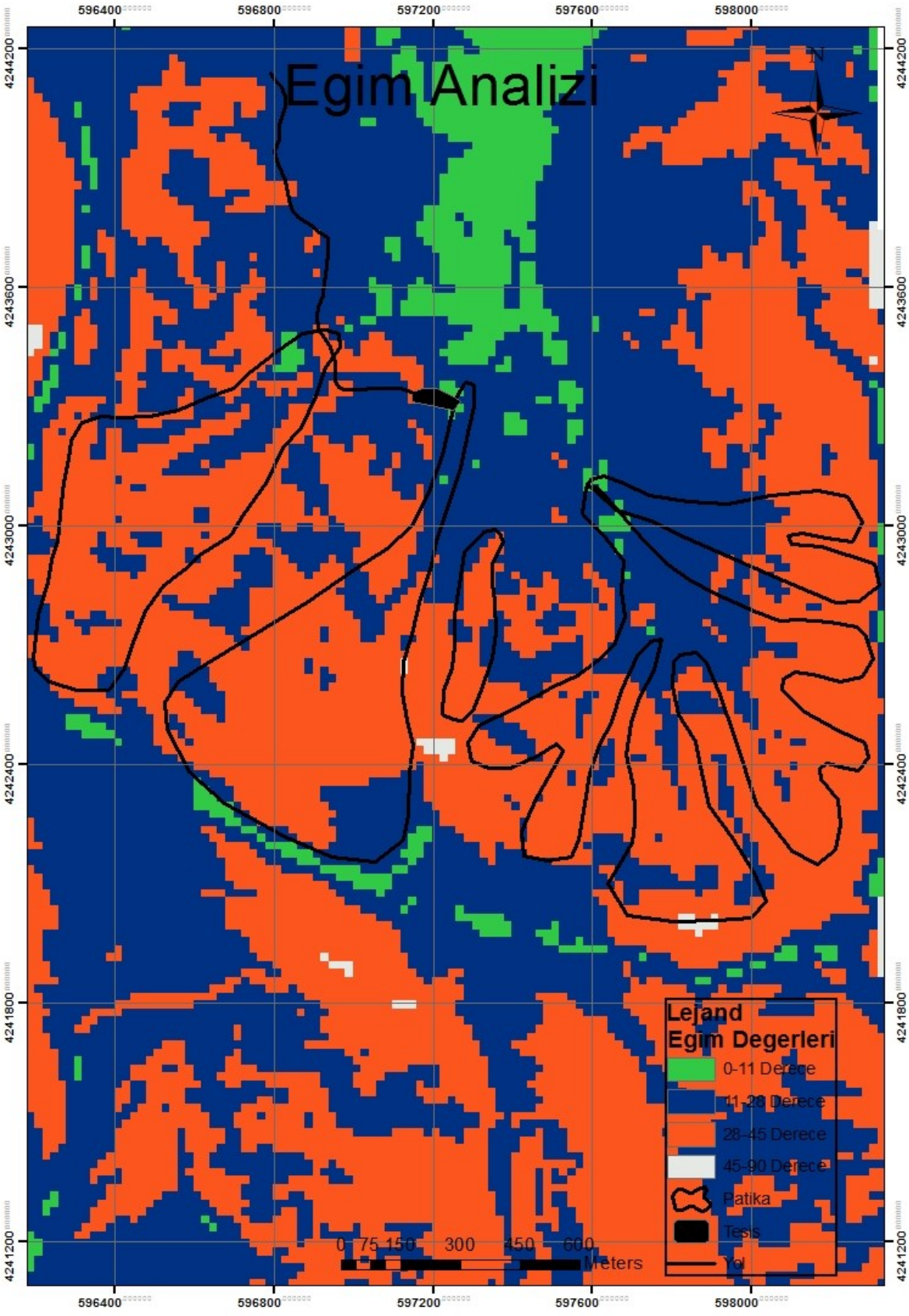
Arazide çığ patikaların tespiti işleminde ilk yapılacak iş çalışma alanını en iyi şekilde görecek cephelerden arazinin genel görünümünün izlenmesi şeklinde olur. Arazi birçok açıdan değerlendirilir. Örneğin bakı, eğim, bitki örtüsü, yamaç şekli, jeolojik yapı, kanallaşma ve önceki çığların arazide bıraktığı izler vb. açılardan değerlendirmeler yapılır.



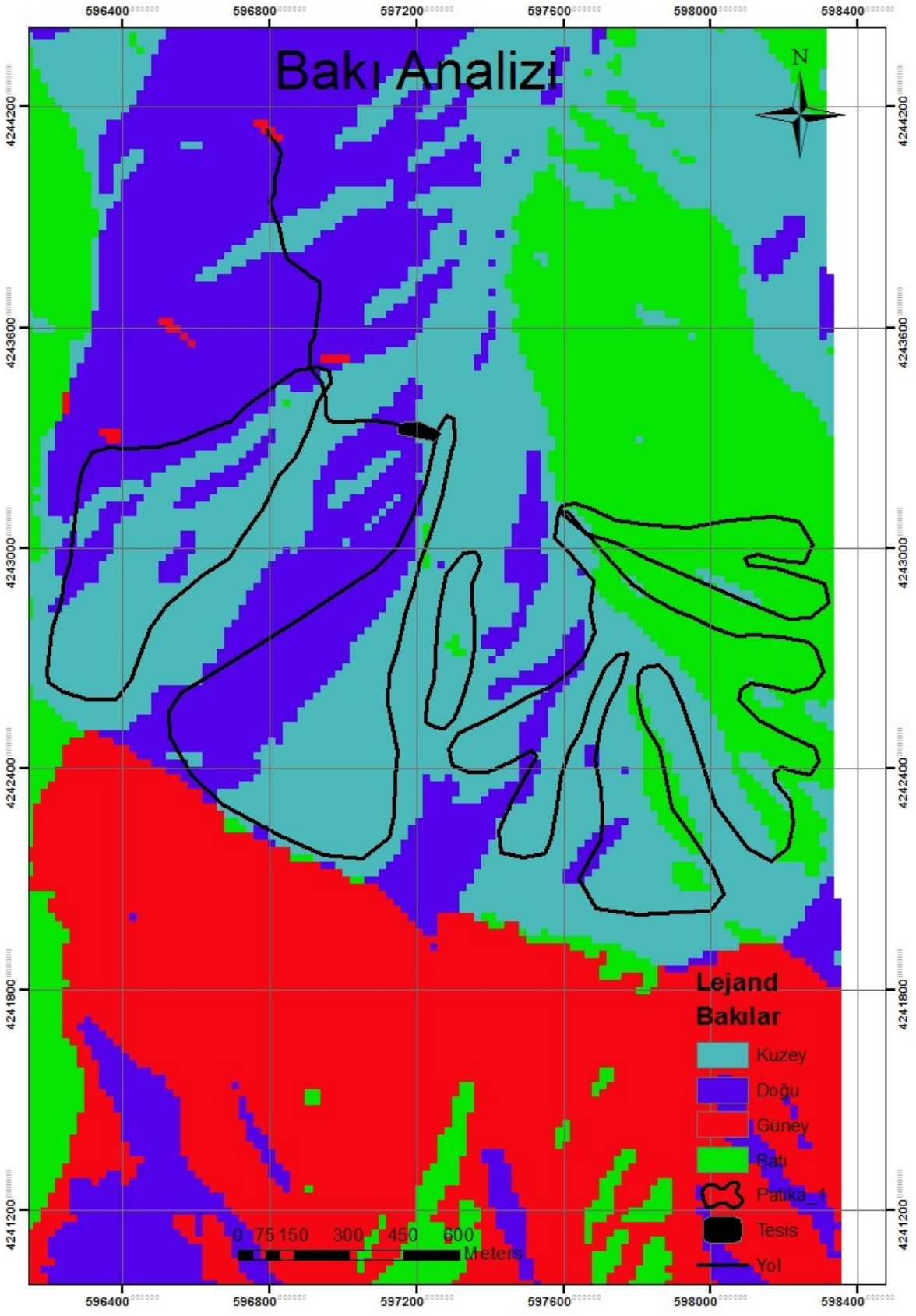
Şekil 35. Bozdağ Kayak Merkezi çığ patikaları



Şekil 36. Bozdağ Kayak Merkezi'ne ait yükseklik analizi



Şekil 37. Bozdağ Kayak Merkezi'ne ait eğim analizi



Şekil 38. Bozdağ Kayak Merkezi'ne ait bakı analizi

3.5.2 Çığ Kopma Bölgelerinin Tespit Edilmesi

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

CBS, arazi gözlemlerinden elde edilen bilgiler ışığında çığ patikalarının sayısal harita üzerinde işlenmesi, analizi ve yorumlanmasında kullanılır. CBS sayesinde arazi ile ilgili oldukça pratik bilgiler elde edilebilmektedir. Örneğin ortalama eğim, kesit çıkartma, yükseklik derecelendirmesi, bakı gösterimi vb. gibi arazide büyük bir alan için kısa sürede elde edilmesi oldukça zor işlemler büro ortamında kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için öncelikle arazinin sayısal haritasının hazır olması gerekmektedir. Bu haritalar Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilebilir. Sayısal haritalar üzerinde bir CBS programı sayesinde sayısal işaretlemeler de gerçekleştirilebilmektedir. Araziden elde edilen bakı, eğim ve yükseklik gözlemleri CBS ortamında yapılan analizlerle deneştirilir. Bu karşılaştırmalar neticesinde patikalara son şekli verilir. CBS ortamında çığ başlangıç bölgeleri tespit edildikten sonra çığ simülasyonu gerçekleştirilecek olan program için muhtemel kopma bölgelerine de ihtiyaç duyulacaktır. Kopma bölgesi başlangıç bölgesi içerisinde yer almakta olup, birden fazla sayıda olabilir. Kopma bölgesinin harita üzerinde seçimi, varsa önceki çığ bilgilerinden yararlanılarak tespit edilir. Bu işlem simülasyon programının muhtemel kopma bölgeleri için sınanması şeklinde gerçekleştirilir. Durma mesafesi bilgisi kontrol olarak kullanılır. Bu mesafeyi en iyi tahmin eden bölge/bölgeler ve kar derinliği o hat için kopma bölgesi olarak belirlenir. Bölge halkı ile görüşmek araziyi tanımak açısından bir diğer önemli husustur. Çünkü bölgeyi her ne kadar çığ uzmanı olmasa da en iyi uzun süre yaşayanlar bilir. Bu sebeple bölge civarında bulunan köy halkı ve bölgede kış sezonunda dahi bulunan çobanlar ile görüşmeler yapılmıştır. Uzun süre ikamet eden halktan alınan bilgiler de arazi eğimi, bakı, bitki örtüsü, jeolojik yapı ve önceki çığ bilgileri ile tutarlılık içerisindedir.

Çığ kopma bölgelerinin tespiti için gerekli veriler; Yamaç eğimi, bakı, düzlemsel eğrisellik, sırtlara olan uzaklık ve yamaç pürüzlülüğü gibi bilgilerdir (Maggioni ve Gruber, 2003).

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

Maggioni ve diğerleri (2002) tarafından yapılan çalışmada, 50 yılı aşkın bir süre zarfında gerçekleşen tüm çığların kaydedilmiş olduğu İsviçre Davos'taki çalışma (uygulama) alanı için potansiyel çığlara ait olası kopma bölgelerinin tespitinde kullanılacak bir algoritma geliştirilmiştir.

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

- Yamaç eğimi açılarının 30° - 60° arasında olması,
- Çığ kopma bölgelerinin arazideki ana sırtlarda bulunmaması,
- Çığ kopma bölgelerinin içbükey arazide bulunması (düzlemsel eğriselliğin -0,2 değerinden daha küçük olduğu durumlar)
- Yamaçlardaki pürüzlülüğünün çığın başlaması için uygun nitelikte bulunması (kopma bölgesindeki ilk kırılmanın gerçekleşebilmesi için, söz konusu bölgedeki ilk başlangıç hareketini engelleyici yoğunlukta bir bitki örtüsünün (ormanlık alan) bulunmaması durumu)

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

Yamaç Eğimi

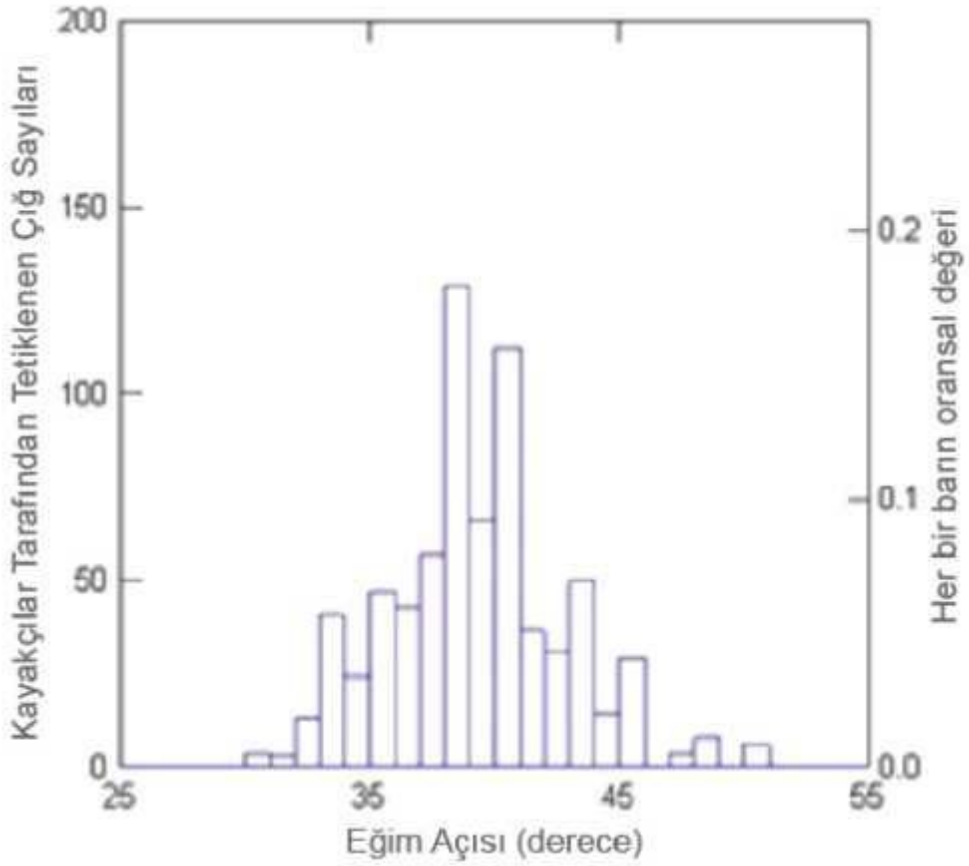
Kritik yamaç eğiminin 60°'den yüksek olmamasının sebebi, daha yüksek eğimlerde az miktarda kar birikebildiği için çok sık ancak küçük boyutta etkisiz akmaların olmasıdır. Eğimin 30°'den az seçilmemesinin nedeni ise kar kütlesinin harekete geçecek kuvvet bileşeninin çığı oluşturacak değerden daha düşük olmasıdır (Salm, 1982).

Mevcut çalışmalar bölümünde değinildiği gibi yamaç eğimi açısından 28 -30° ve daha düşük bölgelerde çığların çoğunlukla harekete başlayamaması ve 55 60° yamaç eğim açısının üzerinde kayda değer çığ oluşumu için gerekli kar birikemediğinden, yamaç eğim açısındaki değişim muhtemel çığ başlama bölgelerinin sınırlarını etkilemektedir.

Genel olarak 28 ~ 55° sınır aralıkları kullanılırken bölgeden bölgeye özel uygulama alanlarında gerçekleştirilecek özel analizler için bu değer değişim gösterebilir (McClung ve Schaerer, 1983). Yapılan bir çalışmada doğal yollardan oluşan çığların başlama bölgesi eğim açılarının 25°'ye kadar düştüğü de gözlemlenmiştir (McClung, 2013). Bu çalışmada doğal yollardan oluşan çığlardan 62 tane gözlenmiş olup, başlama bölgesi eğim açısı sınır aralığı 25° ~55°,

insan etkisiyle (kayakçı, dağcı) tetiklenen 718 çığın başlama bölgesi eğim açısı aralığı 30° ~ 50° (Şekil 39), son olarak karışık etkenlerle tetiklenen 191 adet çığın eğim açısı aralığı 25° 55° olarak gözlemlenmiştir.

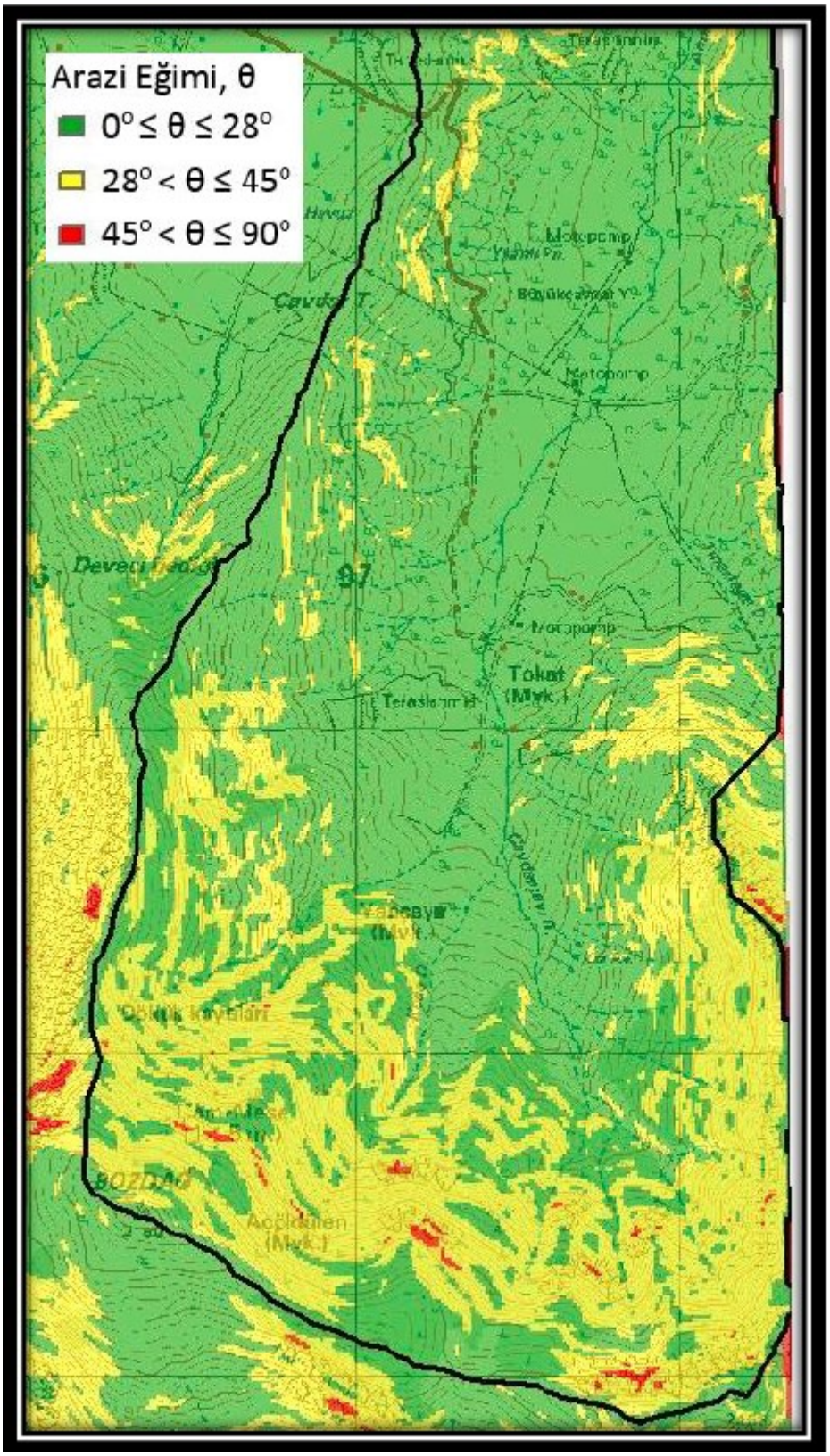
Bu veriler, çığların başlaması için gerekli minimum ve maksimum eğim açıları hakkında oldukça detaylı bilgi vermesinin yanı sıra; en fazla çığ yaşanan eğim açısı aralığı olarak da 35° ~ 45° aralığını göstermektedir. İnsan etkisiyle tetiklenen çığların, en çok 38°'lik eğim açısına sahip bölgelerden harekete başladığı bilgisi de gözlenmiştir. Doğal yollardan meydana gelen çığlar için de aynı bilgiye ulaşabilmek mümkündür (McClung, 2013).



Şekil 39. İnsan etkisiyle (kayakçılar tarafından) tetiklenen 718 çığın başlama bölgesi eğim açısı aralıkları değişimi

Gözlenmiş etkili çığların çok büyük miktarı 28° ~ 55° eğim açısı arasındaki bölgelerden harekete başlasa dahi, bu değerler dışında olup yine aralıklarla çığ gözlenen başlama bölgesi alanları da bulunmaktadır.

Bu proje kapsamında yapılan çalışmalarda, Bozdağ pilot alanı için potansiyel kopma (çığ başlangıç) bölgeleri tespitinde, 1/25.000 ölçekli SYM kullanılarak yapılan eğim analizlerde eğim kriteri olarak 28° - 45° aralığı sırasıyla alt ve üst sınır değerleri olarak kullanılmış ve söz konusu değerler CBS yardımıyla tespit edilerek kopma bölgelerinin tayininde ilk katman olarak değerlendirilmiştir (Şekil 40).



Şekil 40. Bozdağ pilot alanına ait eğim haritası

Bakı

Bakının çığ başlama bölgesi algoritmasına girdi olarak kullanılabilmesi için, arazi koşullarında bakı etkisini net olarak tespit edebilmek gereklidir. Diğer tüm özellikleri bakımından aynı karakterde olan bir bölgede, eğer yamacın bakı değişimi çığların oluşumuna etki ediyorsa o takdirde bakı, başlama bölgesi algoritmasına bir girdi olarak eklenebilir.

Normalde kuzeye bakan yamaçlarda daha fazla kar birikintisi olması, güneye bakan yamaçlarda ise karın daha kolay erimesinden kaynaklanan biçimde daha az miktarda olması beklenir. Ancak, aynı yörelerde kuzeye bakan yamaçlarda da çığ güzergâhları tespit edildiği için bakının doğrudan büyük bir bölge genelinde çığı doğrudan etkileyen bir parametre olarak kullanılmaması gerektiğine karar verilmiştir. Özellikle hâkim rüzgâr yönünün değişimi ve hava akımlarından kaynaklanan şekilde kar yağışının belirli bir bakıya yönelen yamaçlarda yoğunlaşmaması nedeniyle, bakı özelliği doğrudan muhtemel başlama bölgelerinin belirlendiği bir parametre olarak değerlendirilmemiştir.

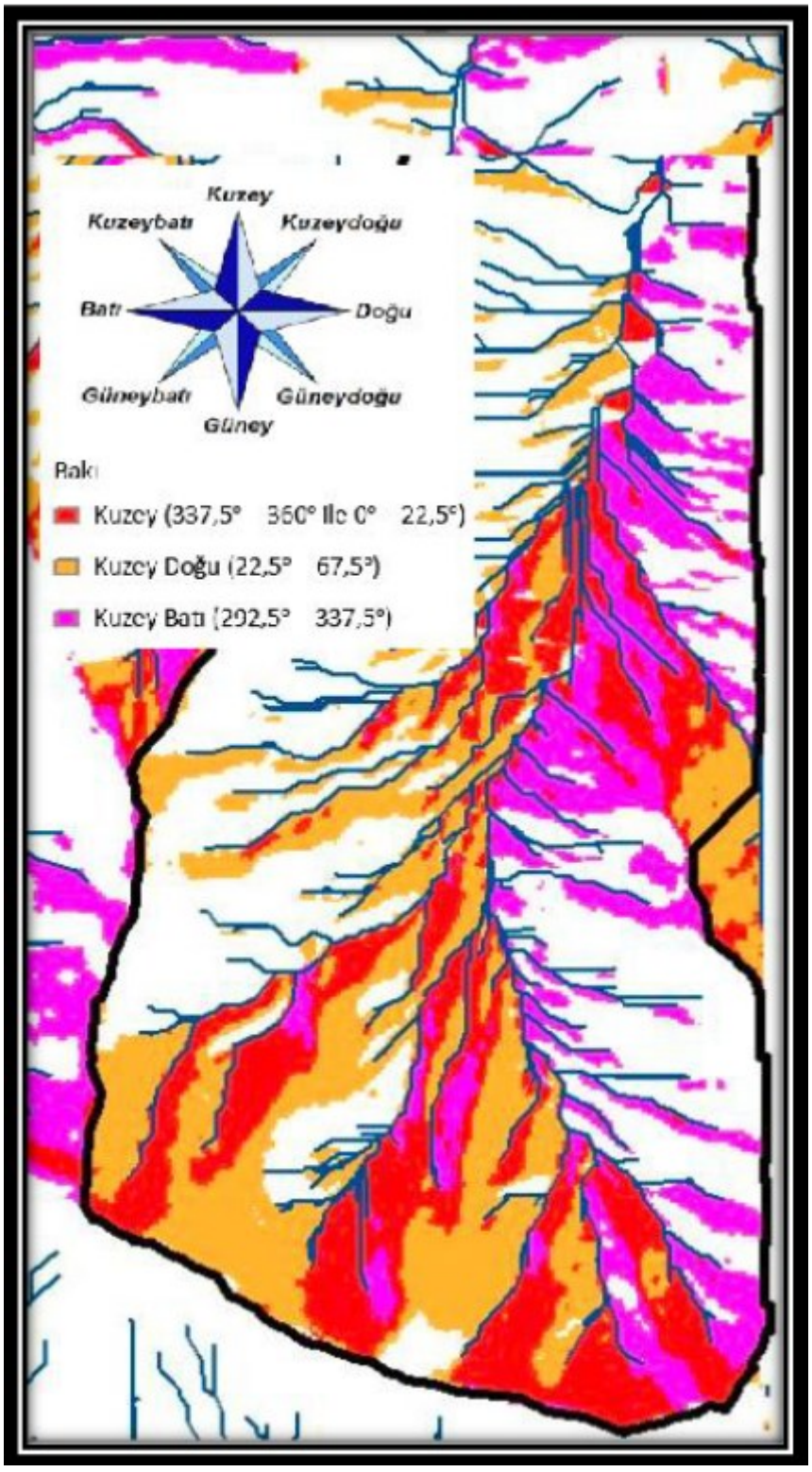
Bakının kopma bölgesinin tayinindeki etkisini, arazi gözlemleri ve çalışılan alandaki gerçekleşmiş çığlara ait güzergâhlar ile birlikte değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır (Şekil 41).

Eğrisellik

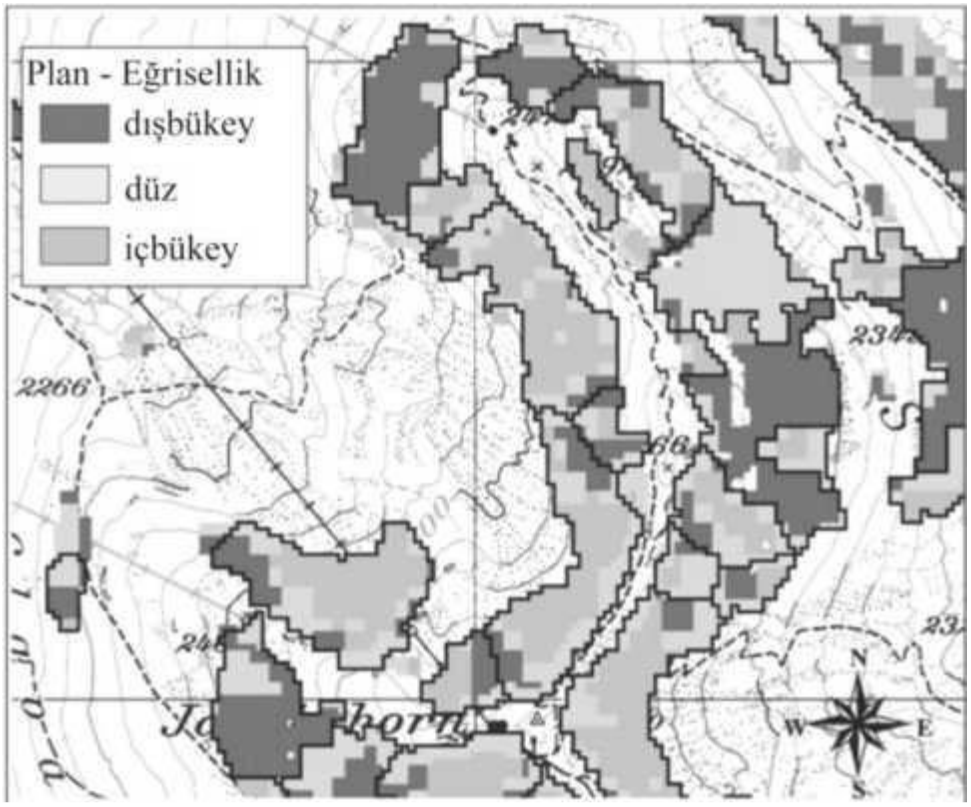
Çığlar genellikle tepe sırtlarında ve düz yerlerde değil, akmaya uygun içbükey arazilerde oluşurlar. Maggioni ve diğerleri (2002) tarafından geliştirilen çığ başlama bölgesi tespit algoritması ile yapılan analiz sonucunda tespit edilen 3 başlama bölgesinin (Davos'taki uygulama alanında) geçmiş yıllara ait çığ kayıtlarına göre; içbükey olan 2 alanda toplam 69 çığ meydana geldiği, diğer tüm kriterlerin (eğim, bakı, ana sırt yamaçlarında olmaması gibi) sağlandığı ancak dışbükey arazi şartlarında potansiyel başlama bölgesi olarak tespit edilen 1 alandan da 15 tane çığ meydana geldiği belirlenmiştir. Bu gözlemler aynı karakterde olmasına rağmen, içbükey arazi şartlarında olan bir bölgenin dışbükey olanına göre çığ oluşumu açısından daha tehlikeli olduğunu göstermektedir.

Plandaki eğrisellik değişiminin düzlemsel olarak tespiti için, ArcGIS-ArcMap yazılımının bir aracı kullanılmıştır.

ArcGIS yazılımına bir yardımcı "tool" (araç) olarak eklenen "Konumsal Analiz/Eğrisellik" uygulaması ile belirtilen piksellere sahip raster görüntü analiz edilir, içbükey alanları temsil eden bölgeler; analiz sonucunda -0.2 değerinden daha düşük değere sahip olan bölgeler olarak tespit edilir (Maggioni ve diğerleri, 2002) (Şekil 42)



Şekil 41. Bozdağ pilot alanına ait bakı haritası



Şekil 42. Plan eğrisellik değerlerine göre içbükey (concave) ve dışbükey (convex) arazilerin CBS yardımıyla tespiti (Maggioni ve Gruber, 2003)

ArcGIS yazılımında bulunan araç kutusunun (ArcToolbox) içerisindeki Mekansal Analiz Araçları (Spatial Analyst Tools) altındaki Eğrisellik (Curvature) aracı kullanılmak suretiyle 10 m x 10 m veya 20 mx 20 m gibi boyutlardaki hücrelere sahip pilot alanın raster görüntüsü analiz edilmiş, değeri - 0,2 ve daha küçük olan hücrelerin pilot saha için içbükey alanları temsil edeceği değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen bölgeler Şekil 43'te gösterilmektedir.

Yükseklik

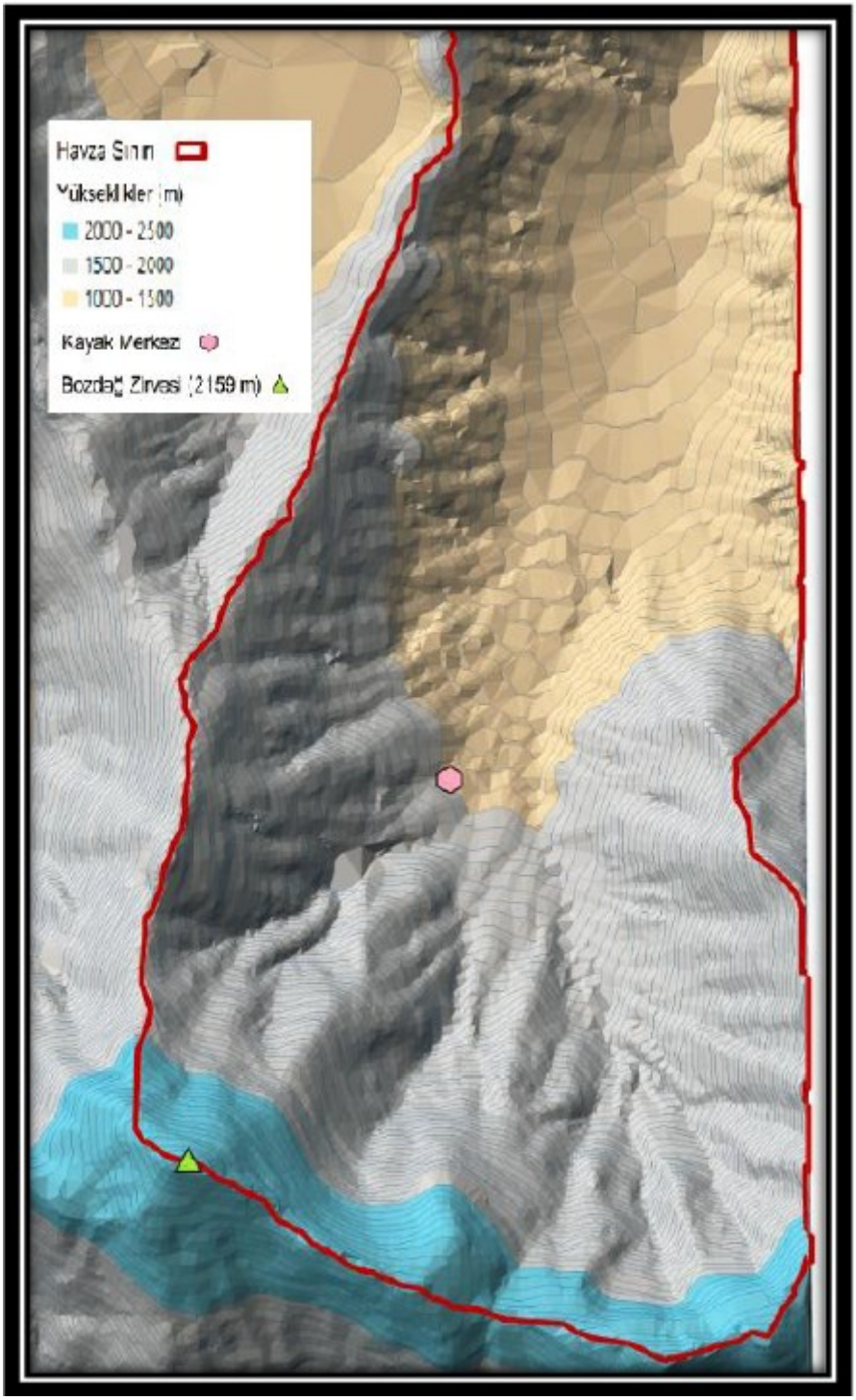
Mikroklima etkisi oluşturacak özel etmenlerin bulunmadığı durumlarda genel olarak deniz seviyesinden yükseldikçe sıcaklıkların düştüğü, buna paralel kar yağışının üst kotlara çıkıldıkça artış gösterdiği bilinen bir olgudur. Benzer şekilde bu durum Bozdağ pilot alanı için de geçerliliğini korumaktadır.

Pilot sahada yapılan arazi etütleri neticesinde geçmişteki çığ olaylarının 1500 m kotunun üzerinde gerçekleştiği, söz konusu çığlara ait kopma bölgelerinin ise 2000 m kotunun üzerinde olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla pilot alan için potansiyel kopma bölgeleri tespit edilirken söz konusu bölgelerin 2000 m kotunun üzerinde olacağı kabul edilmiştir.

Bunun için Bozdağ pilot havzası yine ArcGIS yazılımı kullanılmak suretiyle yükseklik bölgelerine ayrılmıştır (Şekil 44).



Şekil 43. Bozdağ pilot alanına ait eğrisellik haritası



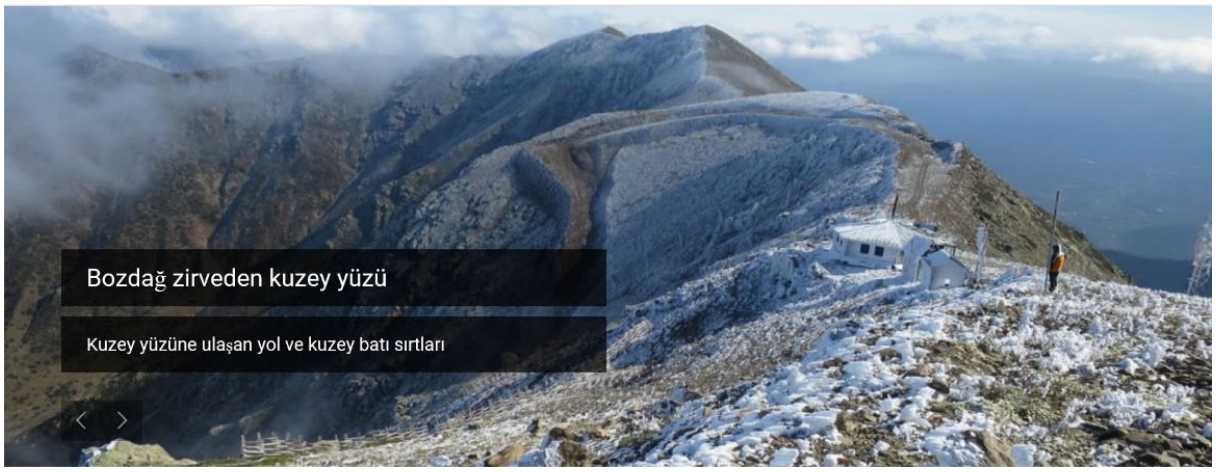
Şekil 44. Bozdağ pilot alanına ait yükseklik haritası

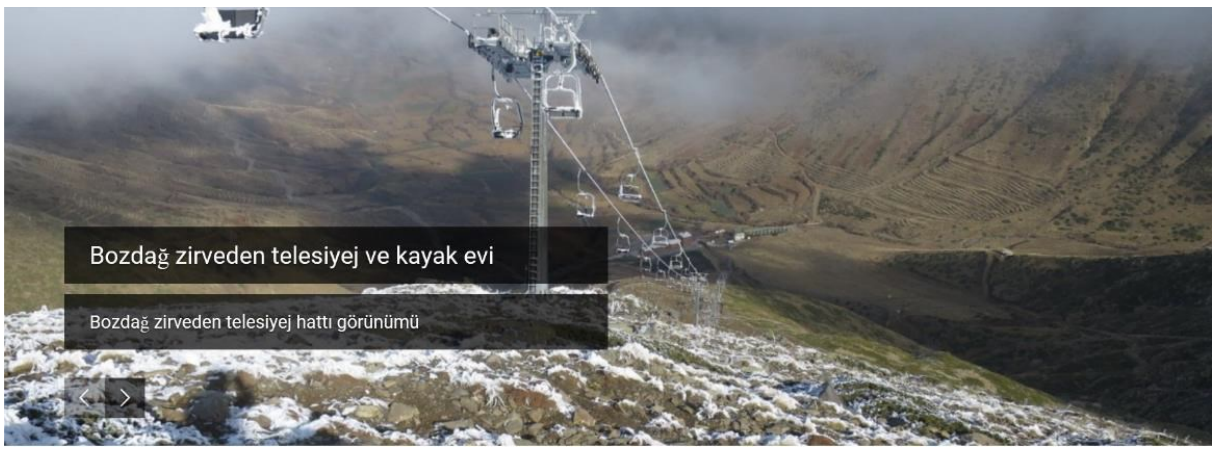
Yamaç Pürüzlülüğü

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

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

Pilot sahada yapılan arazi etütleri neticesinde gerek geçmişte yaşanmış çığ güzergahları üzerinde gerekse çalışılan çanakta dikkate değer bir bitki örtüsü bulunmadığı tespit edildiğinden (Şekil 45) potansiyel çığ kopma bölgelerinin tespitinde meşcere haritası temini ve faydalanması yoluna gidilmemiştir.



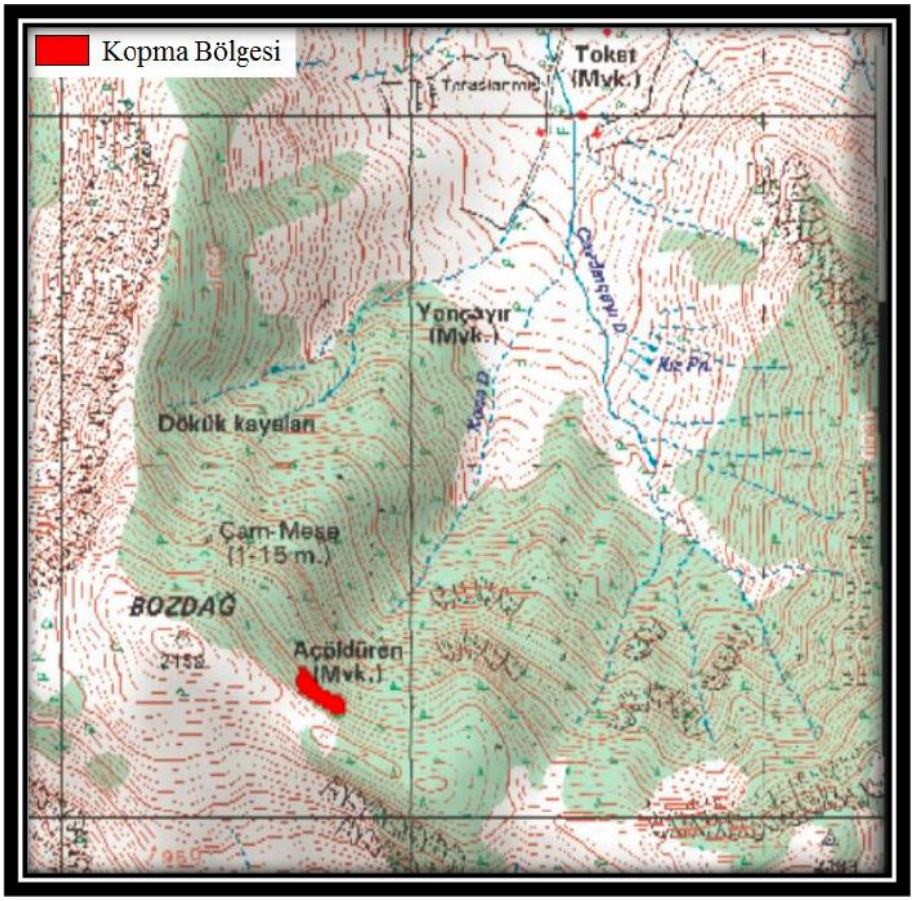


Şekil 45. Bozdağ a) Zirveden kuzey yüzü b) Zirveden telesiyej ve kayak merkezi

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

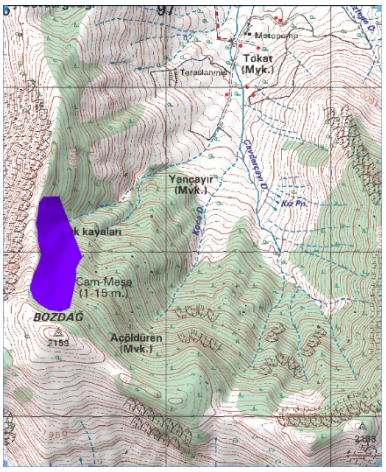
Bozdağ pilot alanı için yukarıda detaylı olarak anlatıldığı şekilde ArcGIS programı kullanılarak elde edilen haritalar, yine ArcGIS programında üst üste getirilmek suretiyle (çakıştırılarak) çığ başlangıç bölgeleri için aranan tüm kriterleri sağlayan potansiyel kopma bölgeleri filtrelenmiştir.

Pilot bölge için belirlenen potansiyel kopma bölgelerinden bir tanesi Şekil 35'te 2 numaralı çığ patikası üzerinde bulunan ve daha önce 2012 tarihinde çığ güzergahı olarak kayda geçen Kocadere'nin membaında Açöldüren mevkii olarak adlandırılan bölgede yer almakta olup; bu proje kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere seçilmiş ve RAMMS programında kopma bölgesi olarak kullanılmıştır. Belirlenen kopma bölgesi Şekil 46' da gösterilmiştir.

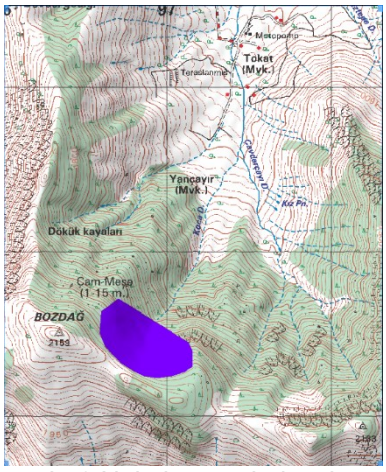


Şekil 46. Koca Dere çığ güzergâhı için potansiyel kopma bölgesi

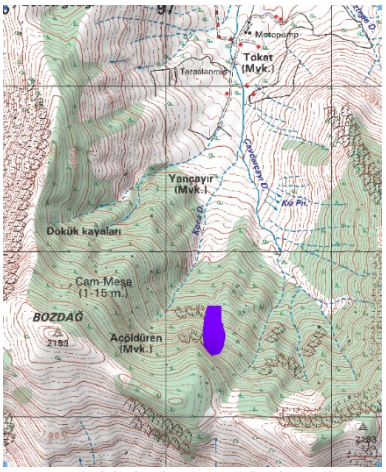
Arazi ve büroda yapılan harita çalışmaları sonucunda elde edilen bilgiler ışığında RAMMS üzerinde 12 adet çığ başlangıç bölgesi seçilmiştir (Şekil 47, Şekil 48). Çığ başlangıç bölgeleri ileride yapılacak yeni değerlendirmeler sonucunda oluşacak (örneğin arazi çalışması değerlendirmesi) yeni bilgiler ile yeniden düzenlenebilir. Gerçekleşecek çığın arazide fiziksel boyutlarının ölçülmesi ve geri hesaplanması, çığ başlangıç bölgeleri tespitinin doğruluğunu artırmak için gereklidir.



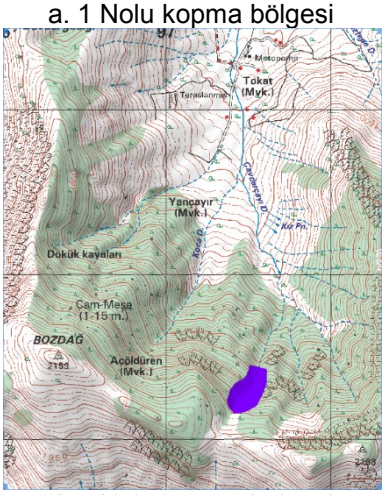
a. 1 Nolu kopma bölgesi



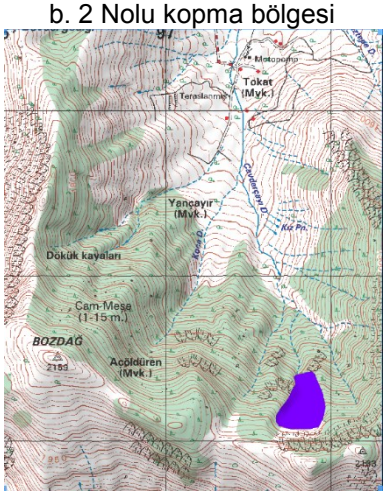
b. 2 Nolu kopma bölgesi



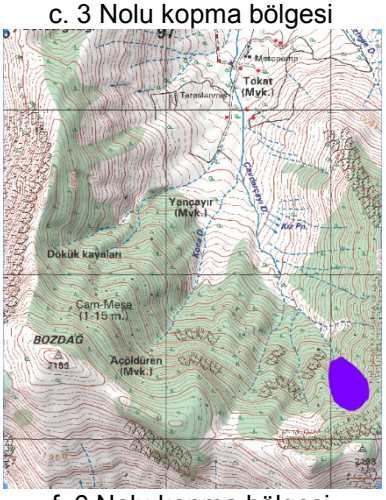
c. 3 Nolu kopma bölgesi



d. 4 Nolu kopma bölgesi



e. 5 Nolu kopma bölgesi

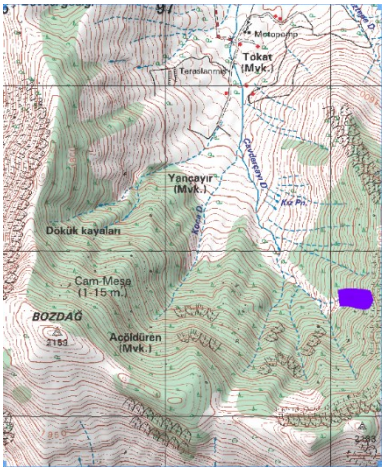


f. 6 Nolu kopma bölgesi

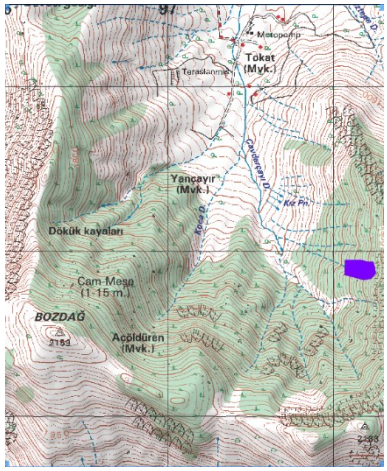
Şekil 47. Çığ kopma bölgeleri

Şekil 47 ve Şekil 48'de tespit edilen 12 adet çığ başlangıç bölgeleri değişmez değildir. Çığın doğasında olan belirsizlik burada göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 47'de gösterilen 1 nolu kopma bölgesi Şekil 35'te 1 numaralı çığ patikası üzerinde; 2 nolu kopma bölgesi Şekil 35'te 2 numaralı çığ patikası üzerinde; 3 nolu kopma bölgesi Şekil 35'te 3 numaralı çığ patikası üzerinde; 4,5 ve 6 nolu kopma bölgeleri Şekil 35'te 4 numaralı çığ patikası üzerinde bulunmaktadır.

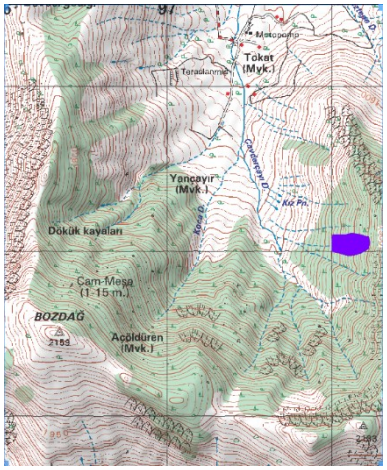
Şekil 48'de gösterilen 7 ve 8 nolu kopma bölgeleri Şekil 35'te 4 numaralı çığ patikası üzerinde; 9 ve 10 nolu kopma bölgeleri Şekil 35'te 5 numaralı çığ patikası üzerinde; 11 nolu kopma bölgesi Şekil 35'te 6 numaralı çığ patikası üzerinde bulunmaktadır. 12 nolu kopma bölgesi Şekil 35'te gösterilen çığ patikalarının herhangi biri üzerinde bulunmamaktadır. Her ne kadar Coğrafi Bilgi Sistemleri ile yapılan analizler sonucunda 12 numaralı kopma bölgesi bir çığ risk durumunu gösterse de yapılan arazi gözlemleri sonucunda bu bölgenin akacağı çığ hattının bölge açısından herhangi bir çığ riski taşımadığı kanaatine varılmıştır. Bu nedenle 12 nolu kopma bölgesi çalışma kapsamında değerlendirme dışında bırakılmıştır.



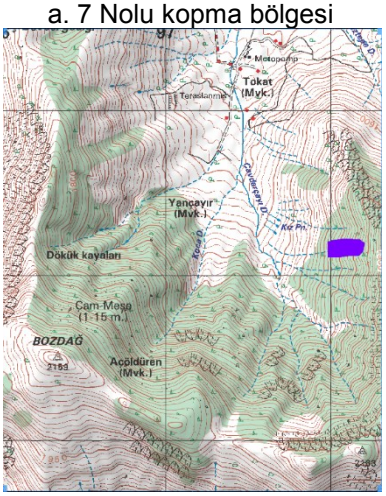
a. 7 Nolu kopma bölgesi



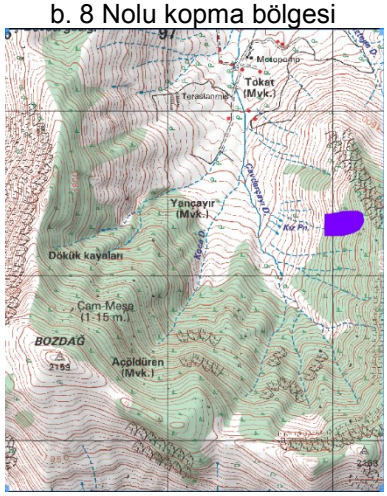
b. 8 Nolu kopma bölgesi



c. 9 Nolu kopma bölgesi



d. 10 Nolu kopma bölgesi



e. 11 Nolu kopma bölgesi



f. 12 Nolu kopma bölgesi

Şekil 48. Çığ kopma bölgeleri

Bu bölümde 6 adet farklı çığ hattı üzerinde 11 adet kopma bölgesinin nasıl belirlendiği anlatılmıştır. Çığ hattı üzerinde bulunan 1 nolu çığ kopma bölgesi RAMMS programı ile yapılacak simülasyonlar için **Senaryo 1** olarak adlandırılmıştır. Bu hat üzerinde farklı kopma derinlikleri ile yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar Bölüm 4.2'de sunulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında aynı kopma bölgesine sahip çığ patikası için farklı kopma derinlikleri (kar derinlikleri) ve farklı tekerrür süreleri seçilerek analizler tekrarlanmıştır. Benzer şekilde 2 numaralı çığ hattı üzerinde bulunan 2 nolu kopma bölgesi **Senaryo 2** olarak adlandırılmış ve benzer denemeler bu senaryo için de yapılmıştır. Bu senaryoların bu çığ hatlarında seçilme sebebi, bu patikalarda daha önceden çığ meydana gelmiş olmasıdır. 1 ve 2 nolu çığ patikalarında oluşan çığlar sonucunda bir kişinin hayatını kaybettiği ve maddi hasarların meydana geldiği bilinmektedir. Bununla birlikte 2 nolu çığ hattı üzerinde CBS analizleri neticesinde elde edilen bir diğer kopma bölgesi Şekil 46'da gösterilen bölgedir. Bu bölge S**enaryo 3** olarak adlandırılmış ve benzer analizler bu senaryo için gerçekleştirilmiştir. Şekil 46'da verilen kopma bölgesi Şekil 47'de verilen 2 nolu çığ kopma bölgesi ile aynı çığ hattı

üzerinde farklı boyutlarda bir çığ kopma bölgesidir. Şekil 47'de verilen 2 nolu çığ kopma bölgesi o çığ hattı için muhtemel en büyük çığ kopma bölgesidir. Farklı iki büyüklükte çığ kopma bölgesi oluşturulmasının amacı arazide o çığ hattı üzerinde oluşabilecek farklı büyüklükteki çığ senaryolarının araştırılmasıdır.

3.6 Pilot Bölgede Arazi Stabilite Çalışmaları (Muhtemel Kopma Derinliği Tespiti)

Kar profili, çığ riskinin belirlenmesi amacıyla muhtemel çığ tehlikesi bulunan araziden kış mevsiminde belirli dönemlerde elde edilen ve dönemsel değişimlerin kar örtüsü içerisindeki tabaka yapısına olan etkilerinin incelendiği bir arazi çalışmasıdır. Kar profili sayesinde kar örtüsü içerisindeki fiziksel değişimler, meteorolojik faktörler dikkate alınarak değerlendirilir ve muhtemel kopma bölgeleri tespit edilmeye çalışılır. Bu arazi çalışması ülkemizde 1990'lı yıllarda meydana gelen büyük çığlar sonrasında yapılan bazı çalışmalar ile gündeme gelmiş fakat düzenli olarak profillerin alınması mümkün olmamıştır. Bu konu ile ilgili literatür çalışması kapsamında verilen bilgiler ışığında projede gerçekleştirilen ve araziden elde edilen kar profillerinin istasyondan gelen veriler ile birlikte değerlendirildiği ve yorumlandığı çalışma sonuçları Bölüm 4.4 ve Bölüm 4.5'te verilmiştir.

3.7 Sayısal Model Çalışmaları

Bir sayısal çözüm modelinin oluşturulmasında dört ana etken bulunmaktadır. Bunlar;

- Problemi ifade eden temel diferansiyel denklemlerin kurulması,
- Yapılan kabuller,
- Denklemler içerisinde kullanılan sabitler (Sürtünme parametreleri, yerçekimi ivmesi, dağılım katsayıları gibi),
- Kullanılan çözüm tekniğidir.

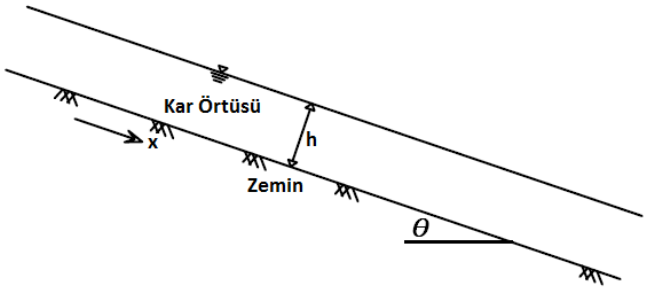
Literatür incelemesinden çığın fiziksel davranışını matematiksel model olarak ifade eden temel diferansiyel denklemler birçok modelde benzerlikler gösterdiği anlaşılmıştır. Örneğin; kütle ve momentum korunum denklemleri birçok modelde bulunmaktadır. Bu denklemlerde, genel olarak eşitliğin sol tarafında çığa ait değişkenin (çığ yüksekliği, hız veya basınç) zamanla ve konumla değişimini ifade eden terimler bulunur. Eşitliğin sağ tarafında ise genellikle kaynak terimi (kayma kuvvetlerinin etkisi, sürüklenme kuvveti etkisi vb.) bulunmaktadır. Modellerin birbirlerinden farklılığı kaynak teriminin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu terimlerden biri kayma kuvvetlerinin tersi yönünde etkiyen ve çığı durdurmaya çalışan kuvvetleri temsil eder. Bu terimin ifade edilmesinde modelden modele farklılıklar görülebilmektedir. Örneğin AVAL-1D'de bu terim, Coulomb tipi kuru sürtünme katsayısı (μ) ve

türbülanslı hareket etkisi ile oluşan iç sürtünme kuvvetleri için kullanılan ξ katsayısı ile ifade edilmiştir. Savage-Hutter modelinde ise benzer şekilde bir katsayı λ (lambda) kullanılmıştır. Kütle merkezi modeli olan PCM modelinde (Perla ve diğerleri, 1980) ise D/M katsayısı bulunmaktadır. Bu katsayıların bazılarının değerleri tüm modellerde ortaktır. Örneğin yerçekimi ivmesi g=9.81 m/sn^2 ve sürtünme katsayısı μ=0.15 – 0.35 olarak alınmaktadır. Fakat bazı katsayılar da bölge özelliklerine bağlı olarak farklılıklar arz etmektedir. Örneğin ξ parametresi 500 -2500 arasında değişen oldukça geniş bir aralığa sahiptir. Bu parametre bölgesel farklılığı simgeler. Aynı şekilde λ ve D/M katsayıları da bu tür parametrelere örnek olarak gösterilebilir. Bölgesel özellikleri simgeleyen bu tür parametreler o bölgeye özel olarak seçilmeli ve modelde bu durum o bölgenin özelliklerini yansıtmalıdır.

Bu çalışma kapsamında yazılmış olan modelde Türkiye'ye özgü katsayıların kullanılacak olması modelin bölgesel özgünlüğünü ifade etmektedir.

Aynı problemin çözümü için kurgulanan farklı sayısal modellerden elde edilen sonuçların bazı farklılıklar içermesi, çözüm aşamalarında yapılan kabullerden de kaynaklanabilir. Özellikle, sayısal çözüm modellerini oluşturan dört ana etkenlerden biri olan *denklemler içerisinde kullanılan sabitlerin* değerlerinin belirlenmesi için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Örneğin: Savage-Hutter modelinde kullanılan λ_a ve λ_b katsayıları belirlenirken hız gradyanı dikkate alınmaktadır. Fakat bu terim Voellmy-Salm modelinde başka parametreler ile ifade edilmiştir. D/M katsayısı ise üç farklı bileşeni içermektedir. Bu sebeplerden dolayı modeller farklı sonuçlar üretebilirler. Proje kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen amaçlardan birisi ülkemize ait bir dinamik modelin geliştirilmesidir. Ülkemize ait bir modelin oluşturulmasından kasıt hem yukarıda bahsedilen ve modelde kullanılacak katsayıların ülkemiz içerisinde oluşan çığları temsil edebilecek bir değer aralığında olması hem de kullanılan çözüm tekniğinin modelin yazarlarına özgü kabulleri içermesidir. Bu konu, ilgili literatür çalışması ile birlikte yürütülmüştür. Literatürden elde edilen deneyimler model çalışmalarının bir boyutlu model yazılarak geliştirildiğini göstermektedir. Örneğin İsviçre'de SLF Araştırma Merkezi önce bir boyutlu AVAL-1D programı geliştirilmiş, uzun yıllar kullanılmış ve yaşanan deneyimler sonrasında RAMMS (iki boyutlu) programı yazılmıştır. Bir boyutlu model çalışmasının ilk kısmı, çığ olayını tanımlayan matematiksel denklemlerin sayısal yöntemlerle çözmek için gerekli düzenlemelerin yapılmasıdır. Bu nedenle bu bölümde AVAL-1D sayısal modelinde olduğu gibi öncelikle süreklilik ve momentum denklemleri tanımlanmış ve çözüm için gerekli olacak bir sayısal çözüm tekniği araştırılmıştır. Burada kullanılan sayısal model çözüm tekniği AVAL-1D'ye kısmen benzemekle birlikte sayısal çözüm yöntemi açısından bazı farklılıkları da içermektedir. İki model de Açık (Explicit) sonlu farklar yöntemi kullanılsa da alt çözüm tekniğinde farklı yöntemler araştırılmıştır. Bu nedenle elde edilecek sonuçların AVAL-1D'den farklılıklar içermesi beklenmektedir.

Modelin kurulması için yapılan ilk çalışmalar matematiksel temel denklemlerin 1-boyutlu olarak ifade edilmesi ile başlanır. Burada çığ model çalışması hidrolik model çalışmalarına benzer şekilde korunum yasalarının uygulanması ile başlar. Çığ ile ilgili matematiksel modeller oluşturulurken öncelikle Kütle ve Momentum Korunumu denklemleri esas alınır.



Şekil 49. Eğimli yüzeyde kar örtüsü yüksekliği

Fiziksel açıdan bakıldığında temel olarak, çığlar, karın yerçekimi etkisi ile akma süreci olarak tanımlanmıştı. Şekil 49'daki kar örtüsünün yer çekimi etkisi ve x yönündeki 1 boyutlu hareketine ait *Kütlenin Korunumu* denklemi

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} = 0 \qquad (10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Benzer durum *Momentumun Korunumu* için yine 1 boyutlu olarak

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2)}{\partial x} = \frac{\mathcal{F}_g - \mathcal{F}_{viscous}}{\rho w} \qquad (11)$$

denklemi ile ifade edilmektedir. Bu denklemlerde;

h: Kar yüksekliğini (Şekil 49'da gösterilen eğimli yüzeye dik yükseklik)

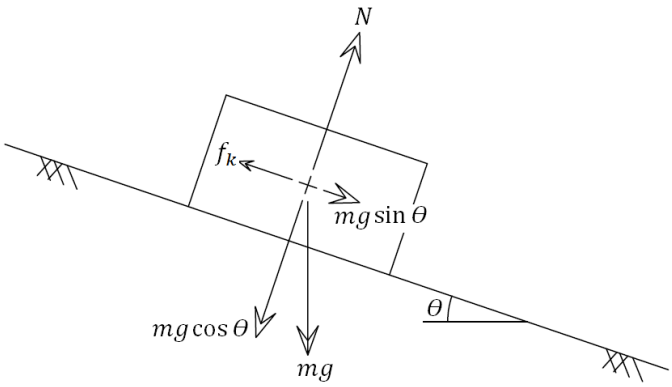
u: Kesitteki ortalama hızı

ρ: Kar yoğunluğunu (sabit olarak kabul edilmiştir)

w: Kayan kar kütlesinin kesit genişliğini (sabit olarak kabul edilmiştir)

$\mathcal{F}_g$: Birim uzunluk için kar kütlesine etkiyen yerçekimi kaynaklı dış kuvvetleri

$\mathcal{F}_{viscous}$: Kar kütlesine etkiyen içsel sürtünme kuvvetleri (birim hacim için) ifade etmektedir.



Şekil 50. Kar bloğuna etki eden kuvvetler

$$f_k = \mu N = \mu(mg\cos\theta) = \mu\{[(wh\Delta x)\rho]g\cos\theta\} \quad (12)$$

Burada;

μ: Kar kütlesi ile zemin arasındaki sürtünme katsayısını

N:Kayan kütlenin ağırlığından dolayı oluşan kayma düzlemine dik normal kuvveti(Şekil 50)

⊿x: Kayma ekseni (ki burada x-eksenidir) boyunca birim uzunluğu

ϴ: Kayma düzleminin yatay ile yaptığı açıyı göstermektedir.

Birim uzunluk için kar kütlesine etkiyen yerçekimi kaynaklı dış kuvvet ($\mathcal{F}_g$) şu şekilde ifade edilebilir;

$$\mathcal{F}_g = \frac{F_g}{\Delta x} = \rho[g\sin\theta - \mu g\cos\theta]hw \quad (13)$$

Kar kütlesine etkiyen içsel sürtünme kuvvet de ($\mathcal{F}_{viscous}$) şu şekilde ifade edilebilir;

$$\mathcal{F}_{viscous} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\bar{\lambda}\rho w h^2}{2}\right] \quad (14)$$

$$\bar{\lambda}\left(x, \frac{\partial u}{\partial x}\right) = \begin{cases} g\cos\theta\lambda_a, \frac{\partial u}{\partial x} \geq 0 \\ g\cos\theta\lambda_b, \frac{\partial u}{\partial x} < 0 \end{cases} \quad (15)$$

Burada; λ: Kar kütlesinin içsel sürtünme parametresini ifade etmektedir. (λ_a: Aktif sürtünme parametresi, λ_b: Pasif sürtünme parametresidir.)

Bir boyutlu matematiksel modelden sayısal çözüme geçiş için sonlu farklar, sonlu hacimler ve sonlu elemanlar gibi ana çözüm yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca literatür araştırmasından bu yöntemlerin içerisinde oldukça fazla sayıda alt çözüm yöntemlerinin mevcut olduğu görülmektedir. Özellikle Tai ve diğerleri (2002) ve Wang ve Hutter (2001) çığın sayısal yöntemlerle çözümünde sıkça kullanılan bazı sayısal çözüm önerilerini kıyaslamalı olarak konvektif baskın problemleri dikkate alarak sunmuşlardır. Lax-Friedrischs, first-order upstream, second-order upstream, merkezi farklar, Lax-Wendroff, Beam-Warming, Fromm, third-order QUICK, QUICKEST, high resolution flux-corrected transport ve total variation diminishing (TVD) yöntemleri bir-boyutlu konveksiyon-difüzyon probleminin çözümü için karşılaştırılmıştır.

Yukarıdaki literatür örneğine benzer birçok başka çalışmalar da mevcuttur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında da model çözümleme çalışması içim ilk olarak sonlu farklar yöntemi içerisindeki alt çözüm teknikleri denenmiştir.

Sonlu farklar yöntemi, Taylor serisinden türetilmiş ve düzenli çözüm ağı kullanılan bir sayısal çözüm yöntemidir. Sonlu farklar yöntemi Taylor serisindeki açılım yönü dikkate alındığında ileri farklar, merkezi farklar ve geri farklar olarak adlandırılan üç farklı seçenekte kullanılmaktadır.

Bu seçeneklerin kullanımında matematiksel denklem, sınır şartları ve çözüm yöntemi dikkate alınır.

Literatürden daha fazla sayıda çözüm önerisi bulmak da mümkündür. Burada yeni geliştirilecek olan modelde öncelikle explicit (açık) çözüm yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan çözüm algoritmasına ait akış şeması Şekil 51 'de verilmiştir. Algoritma içerisinde kullanılan denklemler ve açılımları algoritma sonrasında ayrıntıları ile açıklanmıştır.

Kütlenin Korunumu denkleminin açılımı:

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

Denklemin sağ kısmı zincir kuralı kullanılarak yeniden düzenlenmesi ile;

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\left[h.\frac{\partial u}{\partial x}+u.\frac{\partial h}{\partial x}\right]=0$$

şeklinde kullanılması mümkündür. Kütlenin korunumu denklemi zamana göre ileri farklar, konuma göre merkezi farklar kullanılarak aşağıdaki şekilde açılırsa;

$$\frac{h_i^{n+1}-h_i^n}{\Delta t}+h_i^n.\left(\frac{u_{i+1}^n-u_{i-1}^n}{2\Delta \mathrm{x}}\right)+u_i^n.\left(\frac{h_{i+1}^n-h_{i-1}^n}{2\Delta \mathrm{x}}\right)=0$$

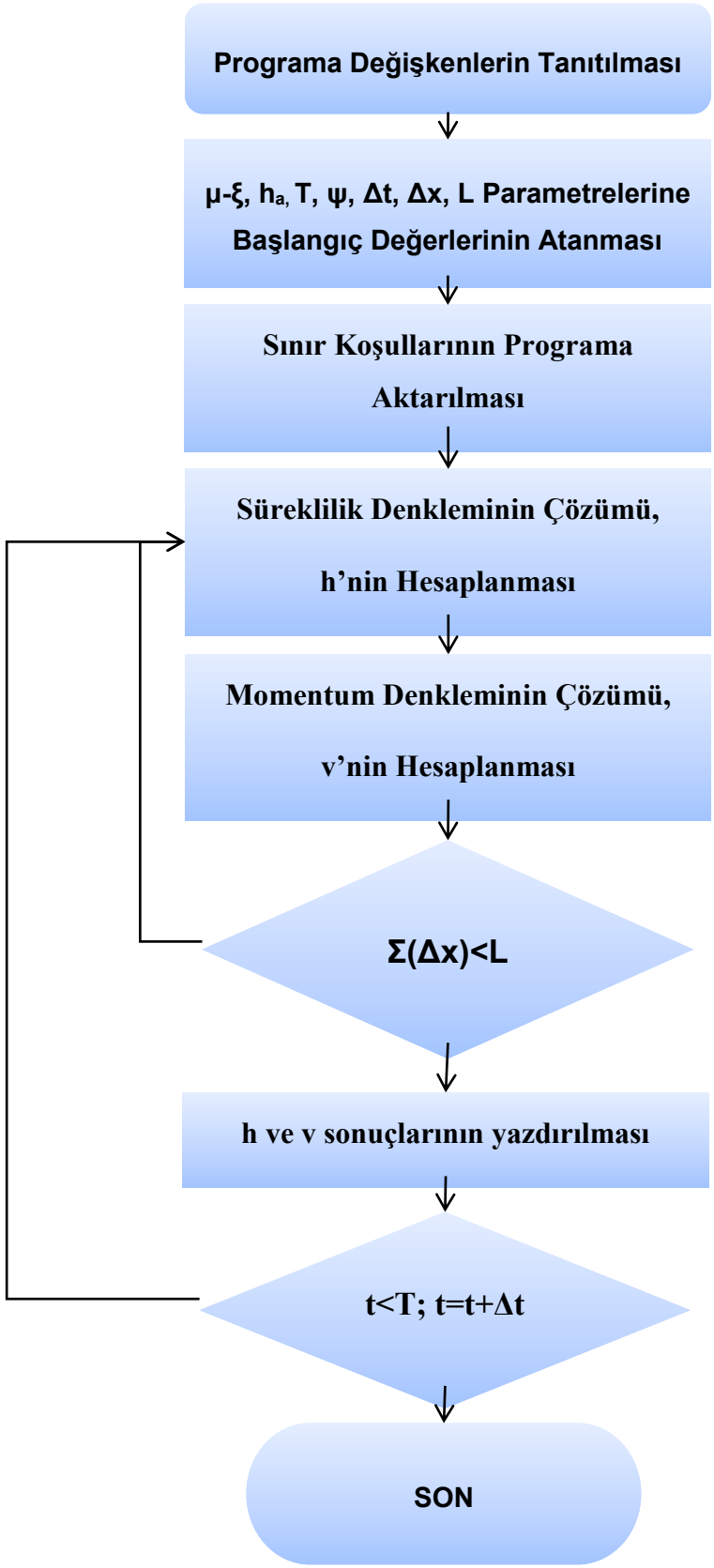
denklemi elde edilir. Burada ***Δx***: Çözüm Aralığı; patika uzunluğunun sonlu farklar yöntemine göre bölünmüş kısımlarını ifade eder. ***Δt***: Çözüm Süresi Aralığı; sonlu farklar yönteminin uygulanabilmesi için gerekli zaman aralığını ifade eder. Bu semboller bundan sonraki denklemlerde de aynı şekilde kullanılacaktır. Bu denklemde ***i-1***, ***i*** ve ***i+1*** ifadeleri çığ hattının ***Δx*** çözüm aralıkları ile bölünmüş hücrelerin (düğüm noktalarının) numaralama sistemidir. Yani ***i-1***, ***i*** numaralı hücrenin bir **alt** komşusunu ***i+1*** terimi ise ***i*** numaralı hücrenin bir **üst** komşusunu ifade etmektedir. Denklemde üst simge olarak kullanılan (n) ve (n+1) terimleri zamanı ifade etmektedir. (n+1) terimi (n) zaman diliminden bir (***Δt***) zaman sonrasını ifade eder. Bundan sonraki açılımlarda bu ifadeler aynı anlamda kullanılmıştır.

Denklem çözüm açısından açık çözüm yöntemi seçilerek düzenlemeye devam edilmiştir:

$$\frac{h_i^{n+1}-h_i^n}{\Delta t}=-h_i^n.\left(\frac{u_{i+1}^n-u_{i-1}^n}{2\Delta \mathrm{x}}\right)-u_i^n.\left(\frac{h_{i+1}^n-h_{i-1}^n}{2\Delta \mathrm{x}}\right)$$

$$h_i^{n+1}-h_i^n=-\frac{\Delta t}{2\Delta \mathrm{x}}.h_i^n.(u_{i+1}^n-u_{i-1}^n)-\frac{\Delta t}{2\Delta \mathrm{x}}.u_i^n.(h_{i+1}^n-h_{i-1}^n)$$

$$h_i^{n+1}=h_i^n-\frac{\Delta t}{2\Delta \mathrm{x}}.h_i^n.(u_{i+1}^n-u_{i-1}^n)-\frac{\Delta t}{2\Delta \mathrm{x}}.u_i^n.(h_{i+1}^n-h_{i-1}^n)$$



Şekil 51. Çığ Programı Akış Şeması

Kütlenin korunumu denklemi son durumu aşağıda verilmiştir. Bu denklem (n) zaman diliminde bilinen değerlerden (n+1) zaman diliminde çığ yüksekliğini hesaplamaktadır.

$$h_i^{n+1} = h_i^n - \frac{\Delta t}{2\Delta x}.(h_i^n.u_{i+1}^n - h_i^n.u_{i-1}^n) - \frac{\Delta t}{2\Delta x}.(h_{i+1}^n.u_i^n - h_{i-1}^n.u_i^n)$$

- İlk düğüm noktası (Başlangıç sınır koşulu) için konuma göre <u>ileri farklar</u> yöntemi kullanılırsa aynı denklem

$$\frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t} + h_i^n.\left(\frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}\right) + u_i^n.\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right) = 0$$

$$\frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t} = -h_i^n.\left(\frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}\right) - u_i^n.\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right)$$

$$h_i^{n+1} - h_i^n = -\frac{\Delta t}{\Delta x}.h_i^n.(u_{i+1}^n - u_i^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}.u_i^n.(h_{i+1}^n - h_i^n)$$

$$h_i^{n+1} = h_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}.h_i^n.(u_{i+1}^n - u_i^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}.u_i^n.(h_{i+1}^n - h_i^n)$$

$h_i^{n+1} = h_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}.(h_i^n.u_{i+1}^n - h_i^n.u_i^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}.(h_{i+1}^n.u_i^n - h_i^n.u_i^n)$ şeklini alır.

- Son düğüm noktası için ise <u>geri farklar</u> yöntemi ile açılım yapılırsa

$$\frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t} + h_i^n.\left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{\Delta x}\right) + u_i^n.\left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right) = 0$$

$$\frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t} = -h_i^n.\left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{\Delta x}\right) - u_i^n.\left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right)$$

$$h_i^{n+1} - h_i^n = -\frac{\Delta t}{\Delta x}.h_i^n.(u_i^n - u_{i-1}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}.u_i^n.(h_i^n - h_{i-1}^n)$$

$$h_i^{n+1} = h_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}.h_i^n.(u_i^n - u_{i-1}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}.u_i^n.(h_i^n - h_{i-1}^n)$$

$h_i^{n+1} = h_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}.(h_i^n.u_i^n - h_i^n.u_{i-1}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}.(u_i^n.h_i^n - u_i^n.h_{i-1}^n)$ denklemi kullanılmalıdır.

<u>Momentumun Korunumu denkleminin açılımı:</u>

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hu^2 + \frac{1}{2}\bar{\lambda}h^2\right)}{\partial x} = \frac{F_g}{\rho w}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} = h.\frac{\partial u}{\partial t} + u.\frac{\partial h}{\partial t} = h_i^n.\left(\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t}\right) + u_i^n.\left(\frac{h_i^{n+1} - h_i^n}{\Delta t}\right)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} = \left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} - h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right) + \left(\frac{h_i^{n+1}.u_i^n - h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} = \left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right)$$

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = h.\frac{\partial(u^2)}{\partial x} + u^2.\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial x} = h.\left[u.\frac{\partial u}{\partial x} + u.\frac{\partial u}{\partial x}\right] + u^2.\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = 2hu\frac{\partial u}{\partial x} + u^2\frac{\partial h}{\partial x}$$

Konuma göre merkezi farklar ile açılırlarsa;

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = 2h_i^n u_i^n\left(\frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x}\right) + (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right)$$

$$\frac{1}{2}\bar{\lambda}\frac{\partial h^2}{\partial x} = \frac{1}{2}\bar{\lambda}\left[h.\frac{\partial h}{\partial x} + h.\frac{\partial h}{\partial x}\right] = \frac{1}{2}\bar{\lambda}\left[2h\frac{\partial h}{\partial x}\right] = \bar{\lambda}h\frac{\partial h}{\partial x}$$

Konuma göre merkezi farklarla açılırsa;

$$\frac{1}{2}\bar{\lambda}\frac{\partial h^2}{\partial x} = \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right)$$

Bütün işlemler denklemde yerlerine yazılırsa;

$$\left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right) + 2h_i^n u_i^n\left(\frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x}\right) + (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right)$$
$$+ \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right) = g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)$$

$$\left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right)$$
$$= -2h_i^n u_i^n\left(\frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x}\right) - (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right) - \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right)$$
$$+ g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)$$

$$\left(h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n\right)$$
$$= -2h_i^n u_i^n\Delta t\left(\frac{u_{i+1}^n - u_{i-1}^n}{2\Delta x}\right) - (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right)\Delta t - \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_{i-1}^n}{2\Delta x}\right)\Delta t$$
$$+ g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

$$h_i^n.u_i^{n+1} = -h_i^{n+1}.u_i^n + 2h_i^n.u_i^n - h_i^n u_i^n\frac{\Delta t}{\Delta x}(u_{i+1}^n - u_{i-1}^n) - (u_i^n)^2\frac{\Delta t}{2\Delta x}(h_{i+1}^n - h_{i-1}^n)$$
$$- \bar{\lambda}h_i^n\frac{\Delta t}{2\Delta x}(h_{i+1}^n - h_{i-1}^n) + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

Sonuç olarak momentum denklemi açılımından (i) hücresi için bir sonraki (n+1) zaman dilimindeki hız değeri belirlenebilmektedir.

$$u_i^{n+1} = -u_i^n \frac{h_i^{n+1}}{h_i^n} + 2u_i^n - u_i^n \frac{\Delta t}{\Delta x}(u_{i+1}^n - u_{i-1}^n) - \frac{(u_i^n)^2}{h_i^n} \frac{\Delta t}{2\Delta x}(h_{i+1}^n - h_{i-1}^n) - \bar{\lambda}\frac{\Delta t}{2\Delta x}(h_{i+1}^n - h_{i-1}^n) + g.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

- Başlangıç sınır şartı için konuma bağlı değişkenlerde <u>ileri farklar metodu</u> uygulanırsa;

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = h.\frac{\partial(u^2)}{\partial x} + u^2.\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial x} = h.\left[u.\frac{\partial u}{\partial x} + u.\frac{\partial u}{\partial x}\right] + u^2.\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = 2hu\frac{\partial u}{\partial x} + u^2\frac{\partial h}{\partial x}$$

Konuma göre <u>ileri farklar</u> ile açılırsa;

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = 2h_i^n u_i^n\left(\frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}\right) + (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right)$$

$$\frac{1}{2}\bar{\lambda}\frac{\partial h^2}{\partial x} = \frac{1}{2}\bar{\lambda}\left[h.\frac{\partial h}{\partial x} + h.\frac{\partial h}{\partial x}\right] = \frac{1}{2}\bar{\lambda}\left[2h\frac{\partial h}{\partial x}\right] = \bar{\lambda}h\frac{\partial h}{\partial x}$$

Konuma göre merkezi farklarla açılırsa;

$$\frac{1}{2}\bar{\lambda}\frac{\partial h^2}{\partial x} = \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right)$$

Bütün işlemler denklemlerde yerine yazılırsa;

$$\left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right) + 2h_i^n u_i^n\left(\frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}\right) + (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right) + \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right) = g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)$$

$$\left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right) = -2h_i^n u_i^n\left(\frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}\right) - (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right) - \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right) + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)$$

$$\left(h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n\right) = -2h_i^n u_i^n\Delta t\left(\frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta x}\right) - (u_i^n)^2\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right)\Delta t - \bar{\lambda}h_i^n\left(\frac{h_{i+1}^n - h_i^n}{\Delta x}\right)\Delta t + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

$$h_i^n.u_i^{n+1} = -h_i^{n+1}.u_i^n + 2h_i^n.u_i^n - 2h_i^n u_i^n\frac{\Delta t}{\Delta x}(u_{i+1}^n - u_i^n) - (u_i^n)^2\frac{\Delta t}{\Delta x}(h_{i+1}^n - h_i^n) - \bar{\lambda}h_i^n\frac{\Delta t}{\Delta x}(h_{i+1}^n - h_i^n) + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

$$u_i^{n+1} = -u_i^n \frac{h_i^{n+1}}{h_i^n} + 2u_i^n - 2u_i^n \frac{\Delta t}{\Delta x}(u_{i+1}^n - u_i^n) - \frac{(u_i^n)^2}{h_i^n} \frac{\Delta t}{\Delta x}(h_{i+1}^n - h_i^n) - \bar{\lambda} \frac{\Delta t}{\Delta x}(h_{i+1}^n - h_i^n) + g.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

- Bitiş sınır şartı için konuma bağlı değişkenlerde <u>geri farklar metodu</u> uygulanırsa;

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = h.\frac{\partial(u^2)}{\partial x} + u^2.\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial x} = h.\left[u.\frac{\partial u}{\partial x} + u.\frac{\partial u}{\partial x}\right] + u^2.\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = 2hu\frac{\partial u}{\partial x} + u^2\frac{\partial h}{\partial x}$$

Konuma göre <u>geri farklar</u> ile açılırsa;

$$\frac{\partial(hu^2)}{\partial x} = 2h_i^n u_i^n \left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{\Delta x}\right) + (u_i^n)^2 \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right)$$

$$\frac{1}{2}\bar{\lambda}\frac{\partial h^2}{\partial x} = \frac{1}{2}\bar{\lambda}\left[h.\frac{\partial h}{\partial x} + h.\frac{\partial h}{\partial x}\right] = \frac{1}{2}\bar{\lambda}\left[2h\frac{\partial h}{\partial x}\right] = \bar{\lambda}h\frac{\partial h}{\partial x}$$

Konuma göre merkezi farklarla açılırsa;

$$\frac{1}{2}\bar{\lambda}\frac{\partial h^2}{\partial x} = \bar{\lambda}h_i^n \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right)$$

Bütün işlemler denklemlerde yerine yazılırsa;

$$\left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right) + 2h_i^n u_i^n \left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{\Delta x}\right) + (u_i^n)^2 \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right) + \bar{\lambda}h_i^n \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right) = g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)$$

$$\left(\frac{h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n}{\Delta t}\right) = -2h_i^n u_i^n \left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{\Delta x}\right) - (u_i^n)^2 \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right) - \bar{\lambda}h_i^n \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right) + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)$$

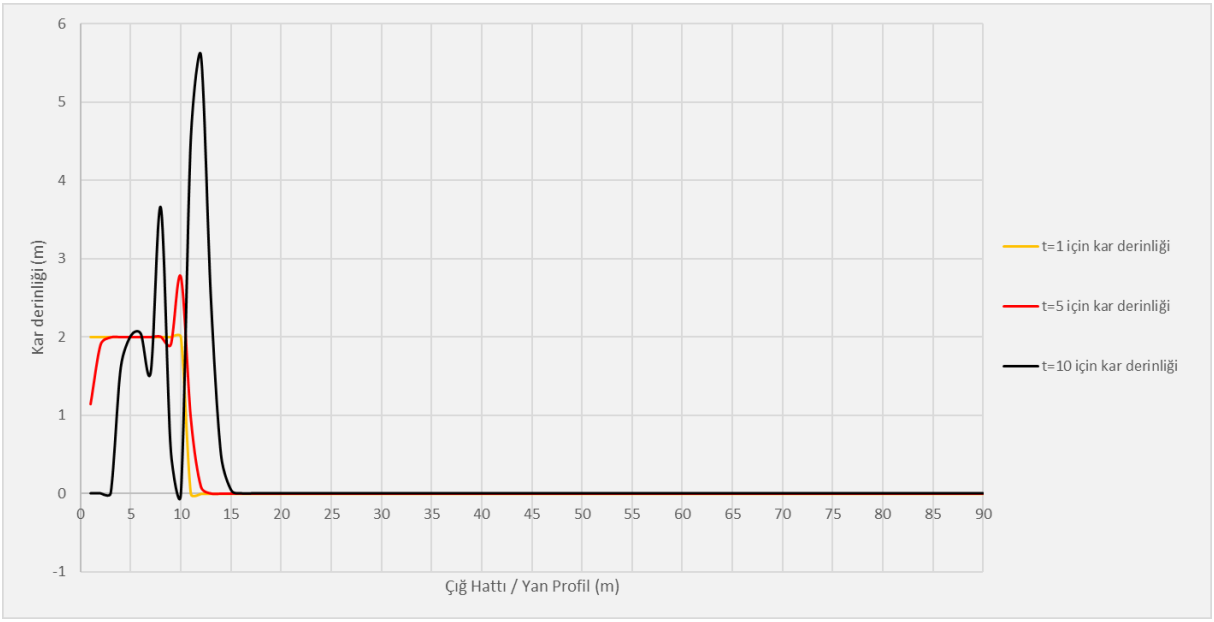
$$\left(h_i^n.u_i^{n+1} + h_i^{n+1}.u_i^n - 2h_i^n.u_i^n\right) = -2h_i^n u_i^n \Delta t \left(\frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{\Delta x}\right) - (u_i^n)^2 \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right)\Delta t - \bar{\lambda}h_i^n \left(\frac{h_i^n - h_{i-1}^n}{\Delta x}\right)\Delta t + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

$$h_i^n.u_i^{n+1} = -h_i^{n+1}.u_i^n + 2h_i^n.u_i^n - 2h_i^n u_i^n \frac{\Delta t}{\Delta x}(u_i^n - u_{i-1}^n) - (u_i^n)^2 \frac{\Delta t}{\Delta x}(h_i^n - h_{i-1}^n) - \bar{\lambda}h_i^n \frac{\Delta t}{\Delta x}(h_i^n - h_{i-1}^n) + g.h_i^n.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

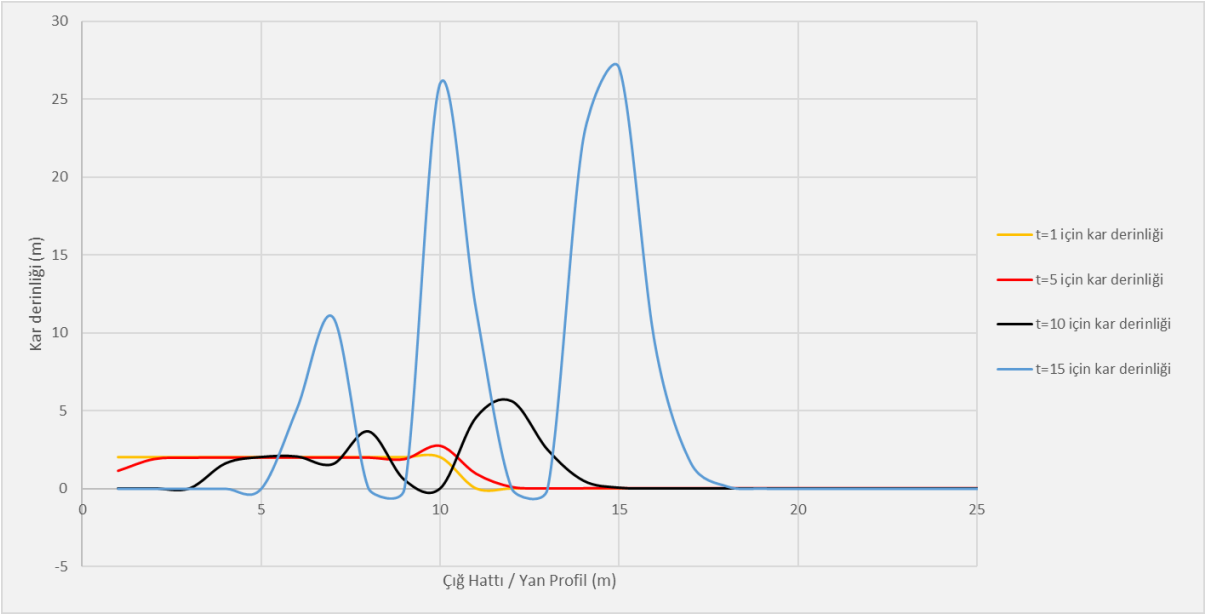
$$u_i^{n+1} = -u_i^n \frac{h_i^{n+1}}{h_i^n} + 2u_i^n - 2u_i^n \frac{\Delta t}{\Delta x}(u_i^n - u_{i-1}^n) - \frac{(u_i^n)^2}{h_i^n} \frac{\Delta t}{\Delta x}(h_i^n - h_{i-1}^n) - \bar{\lambda} \frac{\Delta t}{\Delta x}(h_i^n - h_{i-1}^n)$$
$$+ g.(Sin\theta_i - \mu.Cos\theta_i)\Delta t$$

Açılımı açık (Explicit) yönteme göre yukarıdaki ifadeler ile elde edilen Kütle ve Momentum korunum denklemleri kullanılarak Fortran Programlama dilinde bir program yazılmıştır.

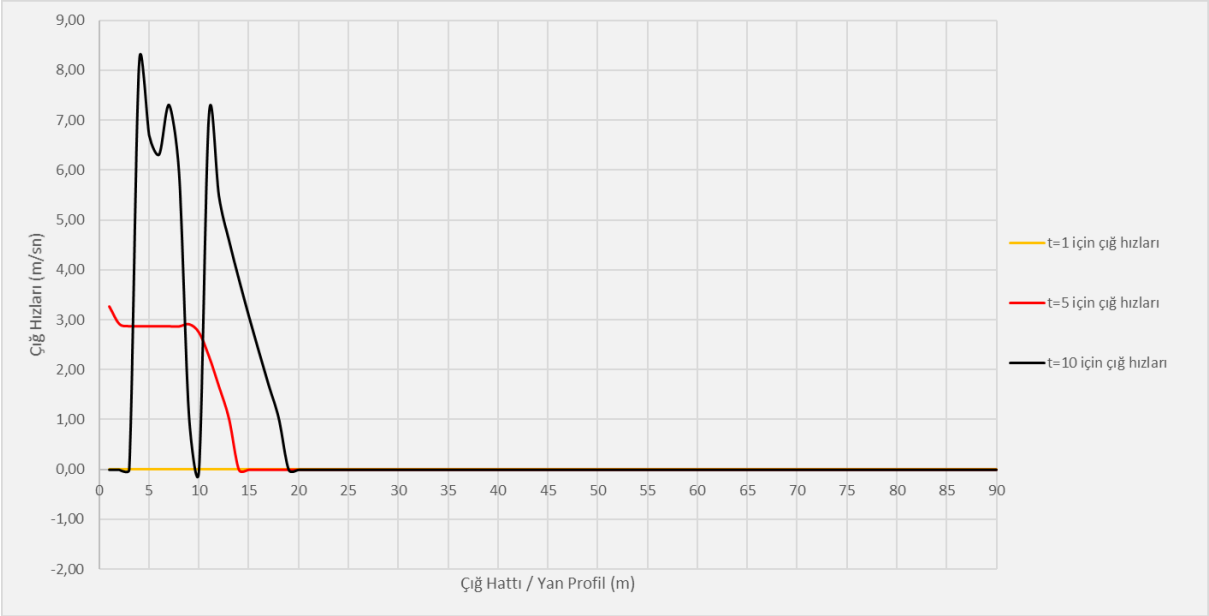
Yazılan bu program sonuçları değerlendirildiğinde sayısal düzensizliklerin oldukça fazla olduğu görülmüştür (Şekil 52, Şekil 53, Şekil 54 ve Şekil 55). Bu sayısal düzensizliklerin giderilmesine yönelik tüm gayretlere rağmen düzensizliklerin yeterli seviyeye indirilememesi nedeni ile uygulanacak çözüm yöntemi değiştirilmiştir. Bu nedenle çözüm yöntemi olarak literatür bölümünde daha önce de belirtilen çığ modellerinden Kütle Merkezi Modeli yeni bir çözüm yöntemi olarak seçilmiştir. Bu modelle ilgili ayrıntılar aşağıda açıklanmaktadır.



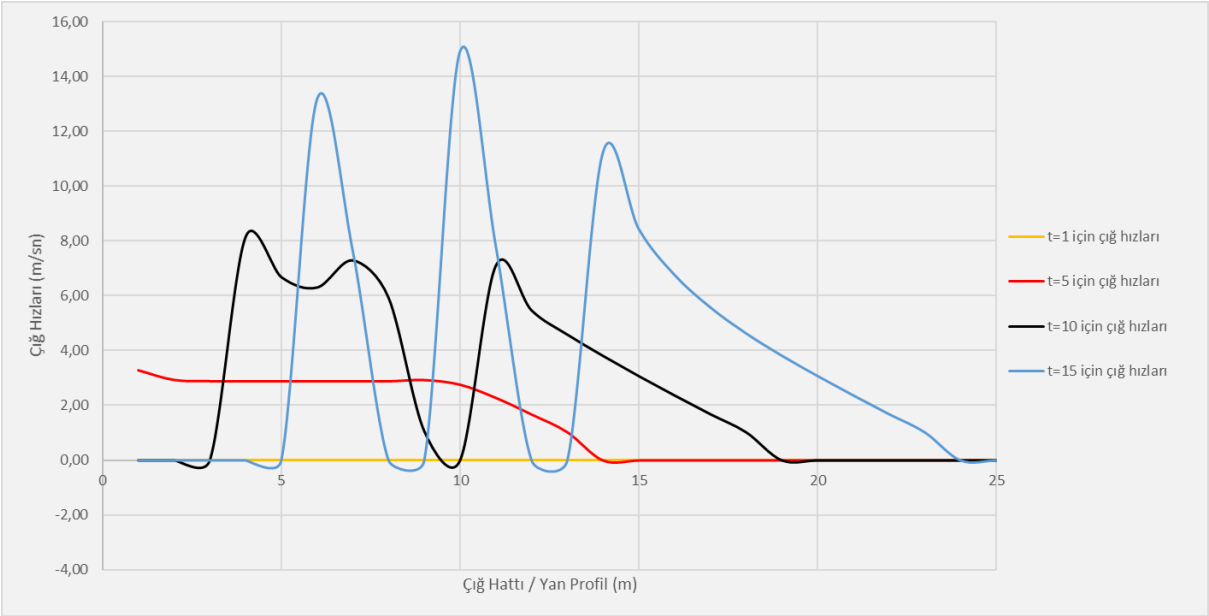
Şekil 52 Çığ Hattı Boyunca Kar Derinliğinin Zamanla Değişimi



Şekil 53 Çığ Hattı Boyunca Kar Derinliğinin Zamanla Değişimi (İlk 25 Hücre Gösterimli)



Şekil 54 Çığ Hattı Boyunca Çığ Hızlarının Zamanla Değişimi



Şekil 55 Çığ Hattı Boyunca Çığ Hızlarının Zamanla Değişimi (İlk 25 Hücre)

3.8 Kütle Merkezi Modeli

Kütle merkezi modeli, Perla ve diğerleri (1980) tarafından önerilen, çığ kütle merkezinin akış hattı boyunca hareketine ait denklemini ifade eden, özellikle çığ hızlarını ve durma mesafesini hesaplamayı amaçlayan bir matematiksel modeldir. Bu modelde ana prensip, yamaç aşağı yönde hareket eden çığa ait kütle merkezinin kütleye ait momentum değişimi ve o kütleye etkiyen kuvvetlerin toplamıyla ilişkili tanımlanmasıdır. Bu durum Newton'un hareket yasası ile Eşitlik (16)'da gösterildiği gibi ifade edilir:

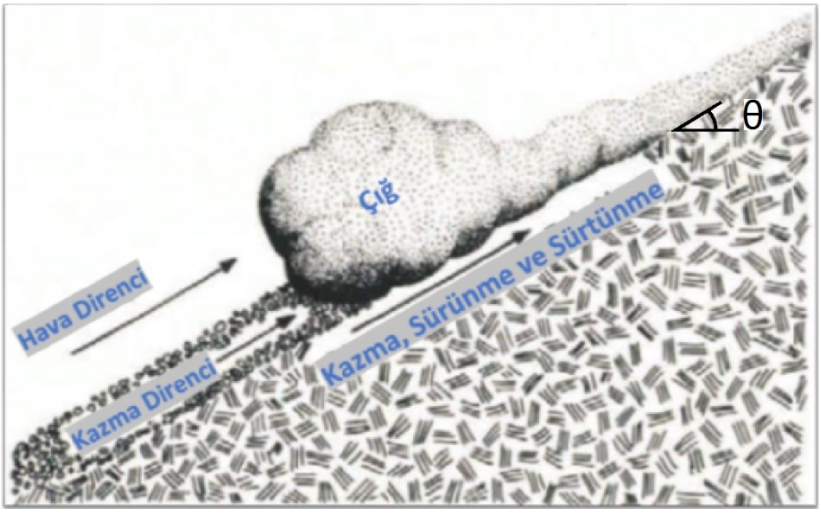
$$\frac{d}{dt}(m\boldsymbol{v}) = \sum \boldsymbol{F} \tag{16}$$

Burada m, hareket boyunca güzergâh üzerinde gerek kar katılımı gerekse kar bırakılması nedeniyle değişim gösteren çığ kütlesini belirtmektedir. $\boldsymbol{F}$, akan kar kütlesine etkiyen toplam kuvveti, $\boldsymbol{v}$ ise akma düzlemine paralel çığ hızını ifade eder.

Perla ve diğerleri (1980) tarafından eğimli bir çığ hattı üzerinde hareketin teğetsel denklemi, (16) numaralı eşitliğin sol tarafının yeniden düzenlenmesi ve sağ tarafındaki kuvvetlerin daha açık ifade edilmesi ile Eşitlik (17) olarak önerilmiştir:

$$m\boldsymbol{v}\frac{d\boldsymbol{v}}{ds} + \boldsymbol{v}^2\frac{dm}{ds} = m\boldsymbol{g}Sin\theta - \boldsymbol{R} \tag{17}$$

Burada s, kütle merkezinin güzergâh üzerindeki başlangıçtan itibaren konumunu, $\boldsymbol{g}$ yer çekimi ivmesini, θ kayma yüzeyinin eğim açısını, $\boldsymbol{R}$ ise Şekil 56 'da gösterilen ve çığ hareketine karşı oluşan sürünme, kazma ve sürtünme dirençlerinin toplamını ifade etmektedir.



Şekil 56 . Çığın hızlanmasına karşı koyan kuvvetler (Perla ve diğerleri, 1980)

Sürünme, kazma ve sürtünme dirençlerinin toplamını gösteren R ifadesi, çığın hızına, şekline, kütlesinin dağılımına, kar özelliklerine, güzergâh pürüzlülüğü ve bununla ilintili diğer faktörlere bağlı olup bu ilişki oldukça karmaşıktır. Voellmy (1955) tarafından önerilen modelde olduğu gibi R'nin güzergaha etkiyen normal kuvvetin doğurduğu sürünme direnci ile orantılı olduğu kabul edilir ve güzergâh boyunca mevcut yerel merkezcil eğrilik etkileri de dikkate alınırsa R değeri Eşitlik (18) ile belirlenebilir.

$$\boldsymbol{R} = \mu m(\boldsymbol{g}Cos\theta \pm \boldsymbol{v}^2/r) \tag{18}$$

Burada μ sürtünme katsayısı, r ise yerel eğrisellik yarıçapıdır.

Voellmy (1955) tarafından R içerisinde ayrıca $(-k\boldsymbol{v}^2)$ terimi de önerilmektedir. Eylemsizliği de içeren bu terim, sürünme ve kazma dirençlerini ifade eden Eşitlik (18)'deki terimlere göre daha büyük değerleri almaktadır. Bu nedenle Eşitlik (18)'deki ifadelere ek olarak $(-kv^2)$ terimi de (17) nolu Eşitliğin sağ tarafına dahil edilerek yeniden düzenleme ile çığa ait genel hareket denklemi elde edilir:

$$m\boldsymbol{v}\frac{dv}{ds} = m\boldsymbol{g}(Sin\theta - \mu Cos\theta) - \boldsymbol{v}^2(\frac{\mu m}{r} + \frac{dm}{ds} + k) \tag{19}$$

Ayrıca Eşitlik (19)'un her iki tarafı $m\boldsymbol{v}$ terimi ile bölünürse Eşitlik (20) bulunur.

$$\frac{d\boldsymbol{v}}{ds} = \frac{\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{v}}(\sin\theta - \mu\cos\theta) - \frac{\boldsymbol{v}}{m}(\frac{\mu m}{r} + \frac{dm}{ds} + k) \tag{20}$$

Bu eşitlikte hareket eden çığın akma hattı boyunca kütlesinin korunduğu kabul edilirse dm/ds terimi denklemden çıkarılabilir. Eşitlik (20)'nin yeniden düzenlenmesi ile çığ hareketini ifade eden birinci dereceden adi diferansiyel denklem, Eşitlik (21) elde edilir.

$$\frac{d\boldsymbol{v}}{ds} = \frac{\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{v}}(\sin\theta - \mu\cos\theta) - \mu\frac{\boldsymbol{v}}{r} - \frac{\boldsymbol{v}k}{m} \tag{21}$$

Elde edilen birinci dereceden adi diferansiyel denklemin çözümü için literatürde farklı sayısal çözüm teknikleri mevcuttur. Genellikle *dördüncü dereceden Runge-Kutta* çözüm yöntemi, bu tür denklemlerin çözümü için tercih edilen bir yöntemdir (Chapra ve Canale, 2010).

Dördüncü dereceden Runge-Kutta çözüm yöntemine göre; öncelikle, çığ hattı sürekliliği bozmayacak şekilde kısmi bölümlere ayrılır. Her bir bölüme ait hız değeri bir önceki bölümden hesaplanmış hız değerine (22) numaralı Eşitlikte verilen denklemin sağ tarafındaki ifadenin eklenmesi ile hesaplanır.

$$v_{i+1} = v_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)\Delta s \quad (22)$$

Eşitlik (22)'de verilen değişkenlerden;

v_{i+1}, üzerinde hesap yapılan kısmi bölümdeki hız değerini,

v_i, bir önceki kısmi bölümdeki hız değerini,

Δs, hesap yapılan kısmi bölümün uzunluğunu ifade etmektedir.

Birinci dereceden adi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümlerinde sınır şartları ve başlangıç şartlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle çığ hattının ilk kısmi bölümündeki ilk hız değerinin başlangıç koşulu için $v_0 = 0{,}5\ m/sn$ kabul edilmiştir.

Eşitlik (22)'deki $k_1, k_2, k_3\ k_4$ katsayıları, çözüm denklemine ait eğim değişim oranlarını ifade eden katsayılar olup aşağıdaki bir seri hesaplama yöntemi ile belirlenir:

$$k_1 = \frac{gg}{v_i}(\sin\theta_i - \mu_i \cos\theta_i) - \mu_i \frac{v_i}{r_i} - \frac{v_i k_i}{m} \quad (23)$$

$$f_2 = v_i + \frac{1}{2}k_1 \Delta s \quad (24)$$

$$k_2 = \frac{g}{f_2}(\sin\theta_i - \mu_i \cos\theta_i) - \mu_i \frac{f_2}{r_i} - \frac{f_2 k_i}{m} \quad (25)$$

$$f_3 = v_i + \frac{1}{2}k_2 \Delta s \quad (26)$$

$$k_3 = \frac{g}{f_3}(\sin\theta_i - \mu_i \cos\theta_i) - \mu_i \frac{f_3}{r_i} - \frac{f_3 k_i}{m} \quad (27)$$

$$f_4 = v_i + k_3 \Delta s \quad (28)$$

$$k_4 = \frac{g}{f_4}(\sin\theta_i - \mu_i \cos\theta_i) - \mu_i \frac{f_4}{r_i} - \frac{f_4 k_i}{m} \quad (29)$$

Eşitlikler (20)-(29)'da belirtilen bazı değişkenlerin proje kapsamında yapılan çalışmalar ile nasıl belirlendiği bu bölümde açıklanmıştır. Örneğin m, çığı oluşturan kopan kar kütlesidir. Kar kütlesinin değeri bir CBS programı yardımı ile belirlenen kopma alanındaki kar hacmi (Bkz.

Bölüm 3.5.2) ile karın öz kütlesi çarpımı neticesinde bulunur. θ, üzerinde hesap yapılan kısmi bölümün ortalama yamaç eğimi olup bir boyutlu çığ hattı profilini oluşturan koordinatlar yardımı ile hesaplanabilir. r değeri ise yamacın hesap yapılan noktasındaki eğrilik yarıçapını ifade etmektedir. Eğrilik yarıçapı çığ hattı profilini oluşturan koordinatlardan birbirini izleyen üç adet koordinatın kullanılması ile oluşturulan çemberin yarıçapı olarak hesaplanabilir. Bunun için öncelikle merkezinin koordinatları (a, b) ve yarıçapı r olan genel çember denklemi yazılır:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \tag{30}$$

Bu denklem daha açık bir ifade ile

$$x^2 - 2ax + a^2 + y^2 - 2by + b^2 = r^2 \tag{31}$$

şeklinde yazılabilir. Aynı ifade genel bir çember denklemi olarak

$$x^2 + y^2 + Ax + By + C = 0 \tag{32}$$

ifade edilebilir. Ardışık üç noktanın bilinen x_i ve y_i koordinat değerleri Eşitlik (31)'de sırasıyla x ve y'nin yerlerine yazılırsa bilinmeyenleri A, B ve C olan ve Eşitlik (33)'de verilen üç adet denklemden oluşan lineer denklem takımı elde edilir:

$$\begin{aligned} Ax_1 + \quad By_1 + \quad C &= -(x_1^2 + y_1^2) \\ Ax_2 + \quad By_2 + \quad C &= -(x_2^2 + y_2^2) \\ Ax_3 + \quad By_3 + \quad C &= -(x_3^2 + y_3^2) \end{aligned} \tag{33}$$

Bu denklem takımında x_1, x_2, x_3 değerleri sırasıyla Şekil 57 'de gösterilen 1,2,3 numaralı noktaların yataydaki iz düşüm koordinatlarını ve y_1, y_2, y_3 ise aynı noktaların rakımlarını ifade etmektedir. Akış hattı üzerinde bulunan bu koordinatların günümüzde CBS programları yardımı ile doğru olarak tespiti mümkündür. Eşitlik (33)'te verilen üç denklemin analitik veya sayısal bir yöntem kullanılarak birlikte çözülmesi ile A, B, C bilinmeyenleri belirlenebilir. Bu çalışmada bilinmeyenlerin tespiti için analitik bir çözüm yöntemi olan *Cramér* kuralı kullanılmıştır.

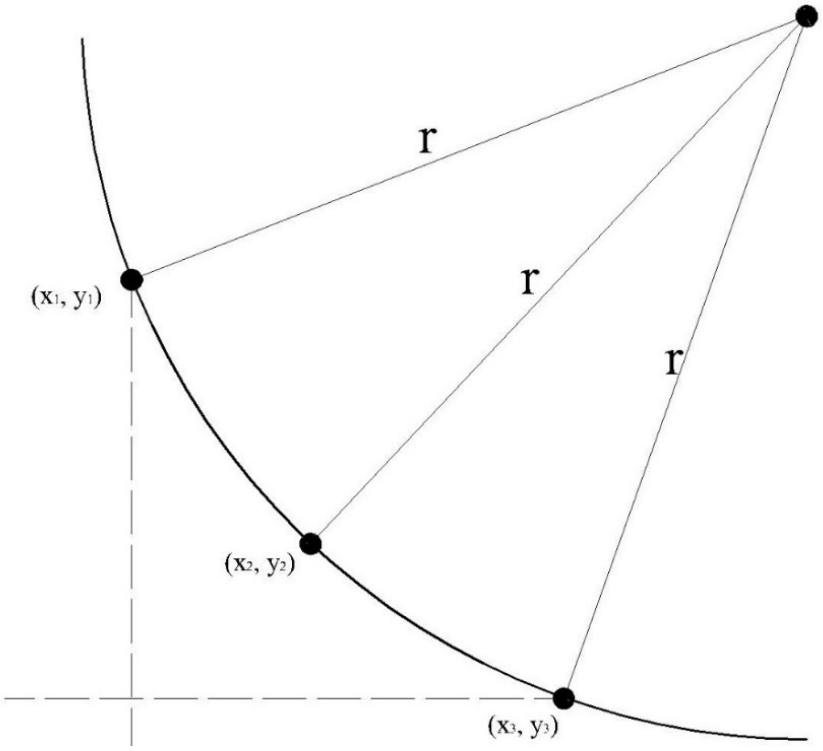
Eşitlik (33)'ün çözülmesi ile bilinen A, B, C değerlerinden, Eşitlik (31) ve Eşitlik (32)'deki ilişkili ifadeler özdeşleştirilerek, diğer bir ifade ile;

$-2ax = Ax$ özdeşliğinden $a = -A/2$;

$-2by = By$ özdeşliğinden $b = -B/2$ değerleri belirlenir. Ayrıca;

$\mathrm{C} = a^2 + b^2 - r^2$ eşitliğinden ise yarıçap değeri yalnız bırakılarak Eşitlik (34) elde edilir. Bu sayede çözüm için gerekli yarıçap değeri bulunmuş olur.

$$r = \sqrt{a^2 + b^2 - C} \tag{34}$$



Şekil 57. Ardışık üç koordinat, çember ve eğrilik yarıçapı ilişkisi

3.8.1 Sayısal Çığ Modeli: CIG_1B_V1

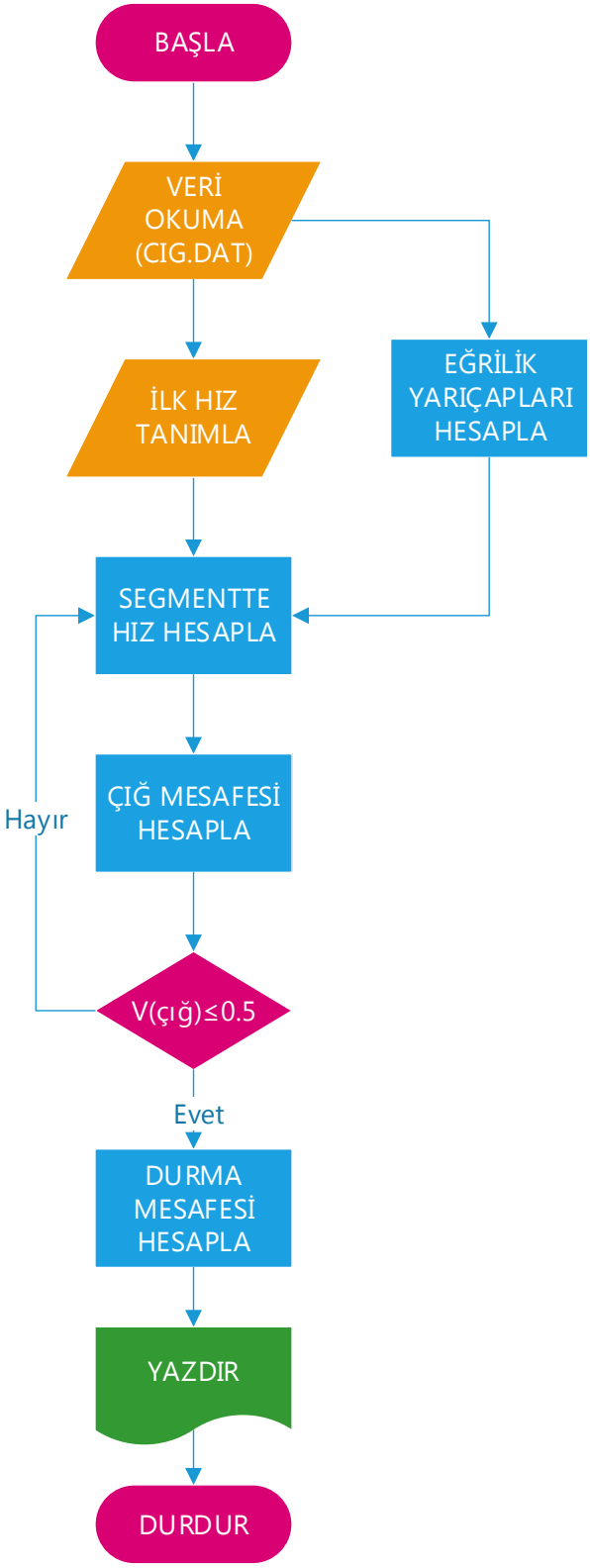
Eşitlik (21) ile ifade edilen hareket denkleminin Runge-Kutta sayısal çözüm tekniği kullanılarak çığ güzergahı boyunca oluşacak çığ merkezine ait hızların nasıl bir yol izlenerek belirlenebileceği bir önceki bölümde verilen Eşitlikler (22)-(29) ile açıklanmıştı. Bu bölümde, belirtilen eşitliklerin çığ hattı boyunca uygulanarak sonuçların elde edilmesine imkân veren ve bu proje çalışması kapsamında yazılmış olan bilgisayar programı ile ilgili bilgilere yer verilecektir.

Bu araştırma projesi kapsamında hazırlanmış olan bilgisayar programı "**CIG_1B_V1**" olarak isimlendirilmiş ve Fortran programlama dilinde hazırlanmış bir sayısal çığ programıdır. "**CIG_1B_V1**", bir-boyutlu (1B) çığ hattı üzerinde oluşabilecek çığ hızları ve çığ durma mesafesini belirlemek amacıyla *Runge-Kutta* çözüm yöntemini uygulayarak *Kütle Merkezi Modeli* tarafından önerilen çığ hareket denklemini çözümler. "Microsoft Developer Studio" ortamında yazılmış ve derlenmiş olan "**CIG_1B_V1**" program kodunun tamamı EK-2'de verilmiştir. Programın "*.exe*" uzantılı uygulanabilir dosyası da oluşturulabilmektedir. Böylece program, ana kaynak dosyası bulunmadan da kişisel bilgisayarlarda kullanılabilir.

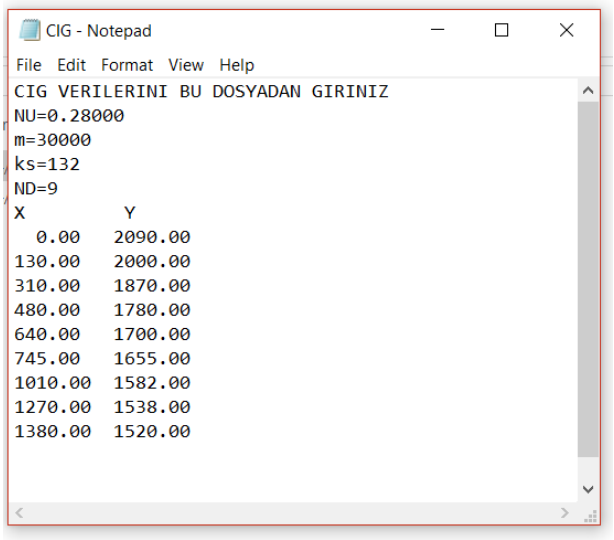
Modelin çalışma prensibi bir bütün olarak akış şeması şeklinde Şekil 58 'de verilmiştir. Program için gerekli veriler "CIG.DAT" isimli dosyadan okutulmaktadır. Programdan elde edilen sonuçlar "SONUC.DAT" isimli dosyaya yazdırılmaktadır.

Programın girdi verileri oluşturan “CIG.DAT” isimli dosya içerisinde, statik sürtünme katsayısı μ, harekete geçen (kg) olarak kar kütlesi miktarı (m), direnç katsayısı k (kg/m), okunacak koordinat noktası sayısı (NS) ve bu noktalara ait X (yatay koordinat) ve Y (rakım) verilerinin listelendiği koordinat bilgileri mevcuttur. Girdi dosyasında bulunan bu bilgilerin program tarafından doğru olarak okunabilmesi programın doğru çalışması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle veri dosyasındaki bilgilerin program kodu tarafından belirtilen okuma formatı ile uyum içerisinde olması gerekmektedir. Program tarafından okunacak tüm girdi verileri, çıktı verilerinin oluşturulduğu “SONUC.DAT” isimli dosyanın ilk bölümünde yeniden yazdırılır. Program tarafından veri okumalarının doğru olarak gerçekleşip gerçekleşmediği kullanıcı tarafından kontrol edilebilir. Böylece kullanıcı, veri okuması ile ilgili hataları tespit ederek veri dosyasını yeniden düzenler ve verilerin doğru okumasını sağlayabilir. Girdi verilerinin bulunduğu dosyaya ait bir örnek Şekil 59 ‘da verilmiştir. Şekil 59 ’da verilen örnek dosya verileri, proje kapsamında uygulama alanı olarak seçilen Bozdağ Kayak Merkezi üst kotlarında bulunan Koca Dere Çığ Hattı üzerinden alınan verilere aittir.

Program içerisinde kullanılan ana değişkenler, kısa açıklamaları ile birlikte program açık kodunda belirtilmiştir. Yine açık kod içerisinde, program içerisinde yürütülen işlemlere ait kısa açıklamalar eklenerek, programın gelecek sürümlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

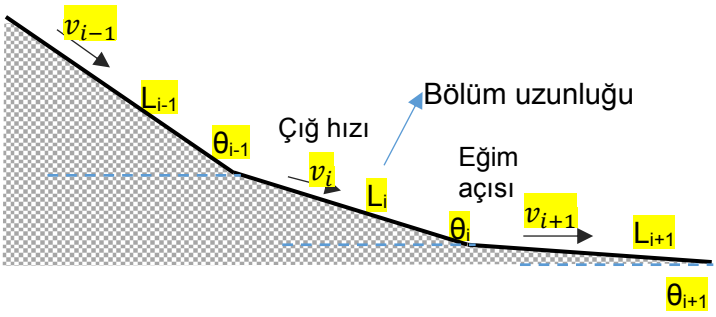


Şekil 58. Çığ Programı, CIG_1B_V1 İçin Genel Akış Şeması



Şekil 59. **CIG_1B_V1** programı girdi verilerinin bulunduğu "CIG.DAT" isimli dosya örneği

CIG_1B_V1 programı, daha öncede belirtidiği gibi çığ hattını kısmi bölümlere ayırarak işlem gerçekleştirmektedir. Bu nedenle her bir kısmi bölümde kullanılan ana değişkenler ve pozisyonları Şekil 60 'ta açıklanmıştır.

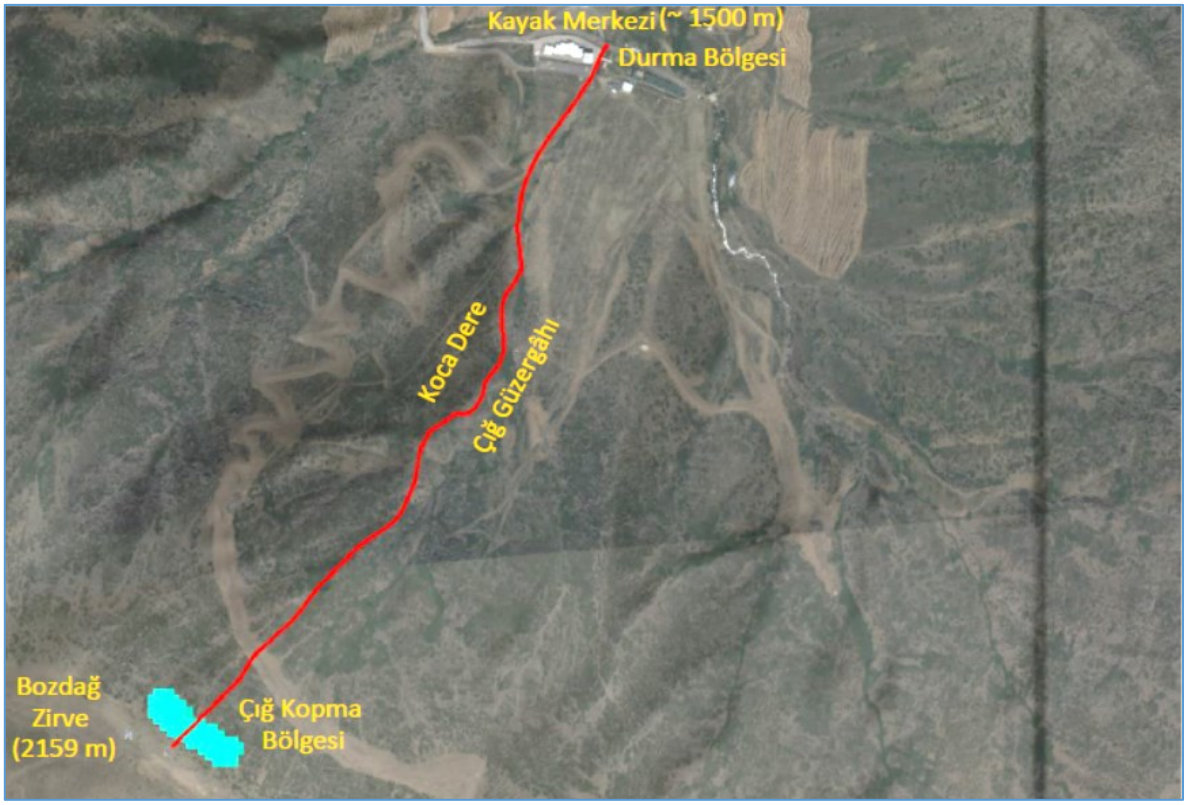


Şekil 60. Sayısal çözümde kullanılan önemli değişkenlerin arazi üzerinde gösterimi

Program her bir kısmi bölüm (segment) için kütle merkezine ait hız hesaplamasını gerçekleştirmektedir. Programda yapılan bir diğer kabul, bölümlerde hesaplanan hızın belirli bir seviyenin altına düşmesi halinde çığ hareketinin durduğu kabulüdür. Program akış şemasında da belirtildiği gibi işlem yapılan kısmi bölümde hesaplanan hız değeri 0,5 m/sn'nin altına düşmesi durumunda çığın durduğu kabul edilmiştir.

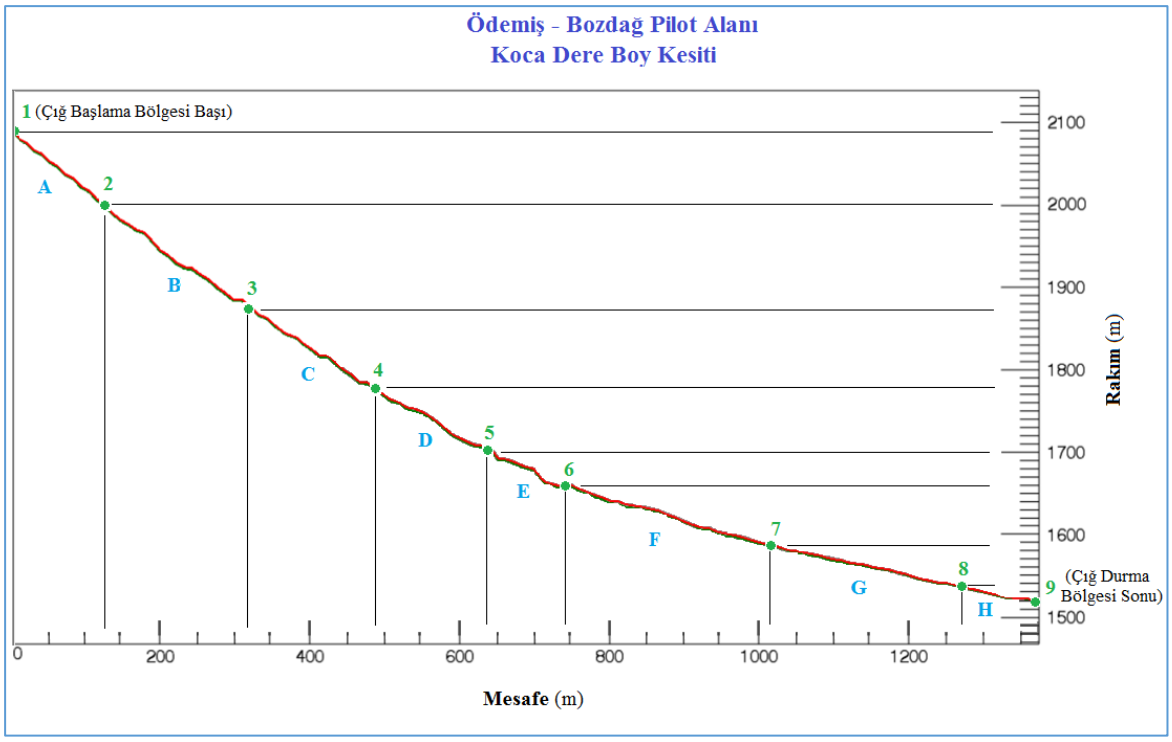
3.8.2 Sayısal Çığ Modeli, CIG_1B_V1 Uygulaması

Hazırlanan bilgisayar programı seçilen uygulama sahası verileri kullanılarak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Şekil 61 ’de pilot sahada çalışılan Koca Dere’ye ait çığ güzergâhı, söz konusu güzergâhta Ocak 2013 tarihinde meydana gelen çığın kopma (başlama) bölgesi ile durma bölgesi, çığda zarar görerek işletmeye kapatılan kayak merkezinin konumu belirtilerek gösterilmiştir.



Şekil 61. Koca Dere çığ güzergâhı ve Kayak Merkezinin planda görünüşü.

Ayrıca Şekil 61 ’de plan görünüşü verilen Koca Dere çığ güzergâhına ait boy kesit ve bu boy kesit profili üzerinde programda kullanılmak amacıyla oluşturulan kısmi bölümler Şekil 62 ’de gösterilmektedir. Dokuz noktadan alınan koordinatlara ait veriler (yatayda çığ başlangıcına olan mesafe, düşeyde ise rakım değerleri) Tablo 6 ’da listelenmiştir. Tablo 6 ’da ayrıca Koca Dere 1B çığ hattına ait kısmi bölümlerin her birinin uzunluğu ve arazideki ortalama eğim açısı özetlenmiştir.



Şekil 62. Koca Dere çığ güzergâhının boy kesiti ve hesaplamalarda kullanılan kısmi bölümler

Tablo 6. Koca Dere çığ güzergâhına ait boy-kesitin bölümleri ve bu bölümlere ait bilgiler

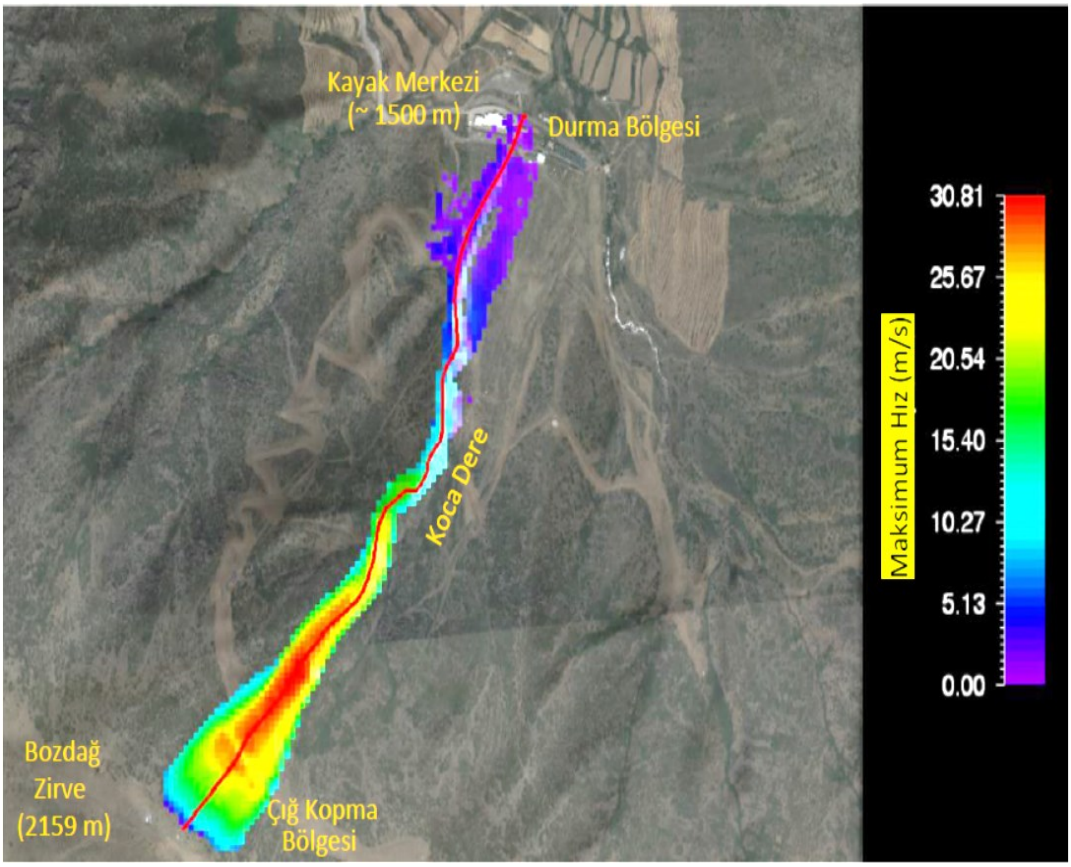
Kısmi Bölümler	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası	Uzunluk (m)	Ortalama Eğim Açısı (°)
	(Noktanın başlangıca mesafesi ve rakımı)			
A	1 (0 ; 2090 m)	2 (130 m; 2000 m)	158,11	34,70
B	2 (130 m; 2000 m)	3 (310 m; 1870 m)	222,04	35,84
C	3 (310 m; 1870 m)	4 (480 m; 1780 m)	192,35	27,90
D	4 (480 m; 1780 m)	5 (640 m; 1700 m)	178,89	26,57
E	5 (640 m; 1700 m)	6 (745 m; 1655 m)	114,24	23,20
F	6 (745 m; 1655 m)	7 (1010 m; 1582 m)	274,87	15,40
G	7 (1010 m; 1582 m)	8 (1270 m; 1538 m)	263,70	9,61
H	8 (1270 m; 1538 m)	9 (1380 m; 1520 m)	111,46	9,29

Bozdağ pilot sahasında çalışılan Koca Dere çığ hattı için Ocak 2013 tarihinde meydana gelen çığ olayının başladığı ve durduğu bölgeler bilindiğinden özellikle "*k*" katsayısının tayini için literatürde "*back calculation*" olarak da bilinen parametre tahmin yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, model (örneğin AVAL-1D, RAMMS ve ELBA+) içerisindeki parametrelerin tahmininde kullanılan bir yöntemdir. Örneğin bilinen durma mesafesi veya basınç etkisi değerlerinden faydalanılarak bilinmeyen veya aralığı tahmin edilen fakat tam değeri kestirilemeyen parametreler modelde doğrulama yöntemi ile belirlenebilir. Bu çalışma kapsamında da bu yöntem uygulanarak bölge için en uygun sürtünme değerlerinin $\mu = 0{,}28$ ve $k = 130\ kg/m$ değerleri tespit edilmiştir. Durma bölgesine yaklaştıkça sürtünme değerlerinin de değişmesi gerektiği fiziksel bir gerçekliktir. Bu nedenle ilk sürtünme değerleri yeniden değerlendirilerek son iki hesap bölmesinde $\mu = 0{,}30$ ve $k = 95\ kg/m$ olarak hesaplarda kullanılmıştır. Bu statik sürtünme değerleri, SLF (2013, s. 90) tarafından önerilen ve bu raporun dördüncü bölümünde Tablo 11 'da *Orta Hacimli Çığ* için belirtilen statik sürtünme katsayılarının alt ve üst limitleri arasındadır. Aynı durum k katsayısı için de söylenebilir. Perla ve diğerleri, (1980) tarafından önerilen klasik kütle merkezi modeli içerisinde kullanılan ve k katsayısını da kapsayan D/M sürtünme değeri için 10–10^5 gibi oldukça geniş bir değer aralığı tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan k katsayısı değerleri bu limitler arasında yer almaktadır. Bu veriler ışığında elde edilen sonuçlar Tablo 7 'de özetlenmiştir.

Tablo 7 'den programın ürettiği sonuçlar incelendiğinde, herhangi bir sayısal düzensizlik bulunmadığı, çığ hattı üzerindeki eğim değişimine paralel olarak beklenen hız değişimlerinin oluştuğu gözlenmiştir. Bununla birlikte araştırma kapsamında kullanılan iki-boyutlu model RAMMS program sonuçları ile CIG_1B_V1 program sonuçlarının karşılaştırılması da gerçekleştirilmiştir. Koca Dere çığ hattı için RAMMS programından elde edilen sonuçlar iki-boyutlu olarak arazi üzerinde Şekil 63 'te gösterilmiş, bu sonuçlardan elde edilen noktasal değerler ise Tablo 8 'de verilmiştir.

Tablo 7. Koca Dere çığ güzergâhı için kullanılan program çıktıları

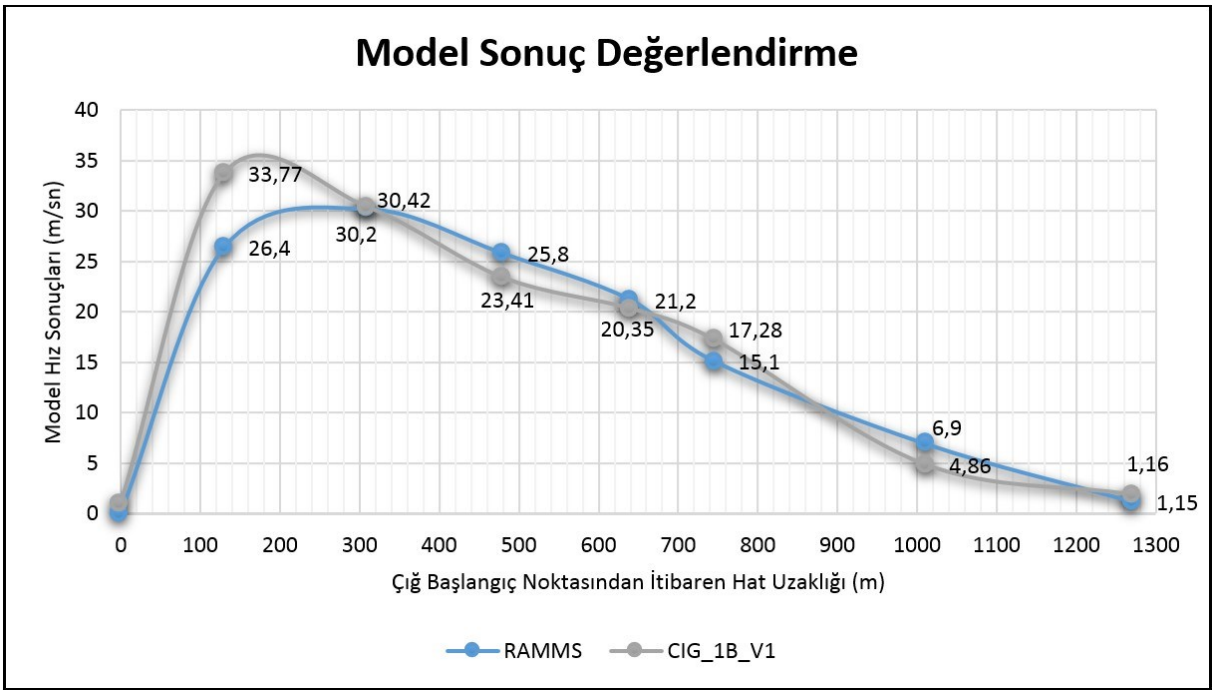
Kısmi Bölümler (Segment)	CIG_1B_V1 Program Çıktıları Özeti			
	Uzunluk (m)	Ortalama Eğim Açısı (°)	Çığ hızı(m/s)	Eğrilik yarıçapı (m)
A	158,11	34,70	1,00	9532,34
B	222,04	35,84	41,48	1496,28
C	192,35	27,90	32,00	7983,26
D	178,89	26,57	24,77	2494,82
E	114,24	23,20	21,79	1431,30
F	274,87	15,40	18,89	2663,04
G	263,70	9,61	3,30	10652,15
H	111,46	9,29	0,99	63912,88



Şekil 63. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS program max. hızları plandaki görünümü

Tablo 8. Koca Dere çığ güzergâhı için RAMMS ve CIG_1B_V1 hız çıktılarının karşılaştırılması

Kısmi Bölümler	RAMMS Programı Çığ hız sonuçları (m/s)	CIG_1B_V1 Programı Çığ hız sonuçları (m/s)	Mutlak Değerce Oransal Fark (%)
A	0,00	1,00	İlk hız kabulü
B	26,40	33,77	27,9
C	30,20	30,42	0,7
D	25,80	23,41	9,3
E	21,20	20,35	4,0
F	15,10	17,28	14,4
G	6,90	4,86	29,6
H	1,15	1,16	0,9



Şekil 64. RAMMS ve CIG_1B_V1 hız çıktılarının karşılaştırılması

Tablo 8 ve Şekil 64 incelendiğinde iki çığ programından elde edilen hız sonuçlarının arazi üzerindeki değişim eğiliminin oldukça benzer olduğu, hatta birçok noktada oldukça yakın sonuçların oluştuğu görülmektedir. Tablo 8 'de verilen ilk hız sonuç değerleri model başlangıç hız kabul değerleri olduğundan değerlendirme dışı tutulmuştur. Çünkü bu değerler hesaplamaların başlaması için verilen ilk başlangıç değerleridir. Bu nedenle sonuçların karşılaştırılması için Tablo 8 'de B ve H bölümleri arasındaki kısımlar dikkate alınmıştır. Bu bölümler dikkate alındığında CIG_1B_V1 modelinden elde edilen sonuçların RAMMS model sonuçlarına oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Tablo 8 ve Şekil 64 incelendiğinde H bölümündeki hız değerinin 1,16 m/sn mertebesinde olduğu, bu değerin CIG_1B_V1 programı için çığ durma kriteri olan 0,5 m/sn değerine oldukça yakın olduğu, dolayısıyla merkezinde 1,16 m/sn 'lik bir hıza sahip çığ kütlesinin hesap yapılan bu kısmi bölüm içerisinde durmasının mümkün olabileceği görülmektedir. Bir başka ifade ile CIG_1B_V1 programının iyi hız tahminlerinin yanısıra gerçek durumdaki durma mesafesine de oldukça yakın tahminde bulunduğu söylenebilir.

4. BULGULAR

4.1 Dinamik Simülasyon Yazılımının Pilot Bölgede Uygulanması

Bu bölümde RAMMS programından elde edilen sonuçlar verilmektedir.

RAMMS girdi parametreleri; topografik bilgiler, sürtünme parametreleri, çığ kopma bölgesi, çığ hesaplama bölgesi, hesaplama çözünürlüğü, çığ sonlanma zamanı ve zaman aralığıdır. Bu parametreler her bir çığ senaryosu için yazılıma ayrı ayrı girilebilmektedir. Topografik veri, kartezyen koordinatta olan ESRI ASCII formatında dijital yükseklik modelinden (DEM: Digital Elevation Model) oluşmalıdır. Çığ kopma bölgesi ve yüksekliği, RAMMS simülasyon sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu veriler ise arazi gözlemleri, topografik yapı ve dijital harita analizlerinden elde edilen bilgiler ışığında seçilmiştir. RAMMS yazılımında çığ kopma bölgesi poligon olarak tanımlanmasını gerektirmektedir. Diğer bir girdi olan sürtünme parametreleri için RAMMS Voellmy-Salm (Salm ve diğerleri,1990; Salm,1993) yaklaşımı olan Voellmy-akışkan sürtünme modelini kullanmaktadır. RAMMS sürtünme parametreleri için iki seçenek sunmaktadır. Sürtünme parametreleri (μ, ξ) sabit olarak yazılıma girilebileceği gibi, eğim açısı, yükseklik ve eğrilik gibi topografik verilere dayandırılarak değişken olarak da tanımlanabilmektedir. Çığ tekrarlama periyodu, Çığ hacim kategorisi (büyük, orta, küçük, çok küçük), orman bilgileri girilerek, RAMMS'da sürtünme parametrelerini etkileyen değişkenler belirtilebilmektedir.

Bozdağ dijital yükseklik haritası RAMMS yazılımında yüklenmiş ve çığ hesaplamalarında kullanılacak koordinat sınırları aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

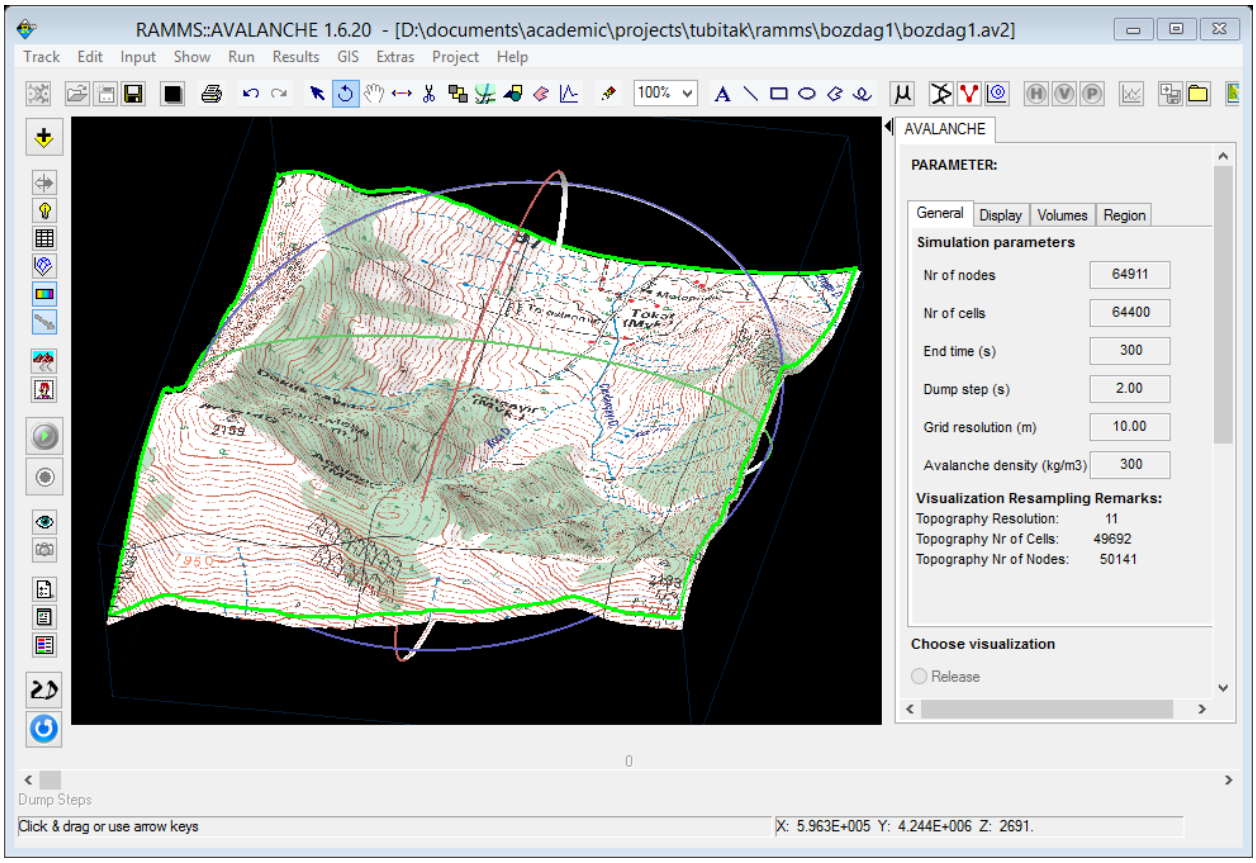
Y maksimum (m) kuzey : 4248075.0

Y minimum (m) güney : 4234095.0

X maksimum (m) doğu : 598428.0

X minimum (m) batı : 587348.0

RAMMS'da DEM yanısıra görsel altyapı oluşturması açısından resim formatında Bozdağ haritası altlık olarak seçilmiştir. Böylelikle harita üzerindeki mevki isimleri, dere yatakları, yeşil alanlar, kayalık bölgeler, vb. izlenebilmektedir (Şekil 65).



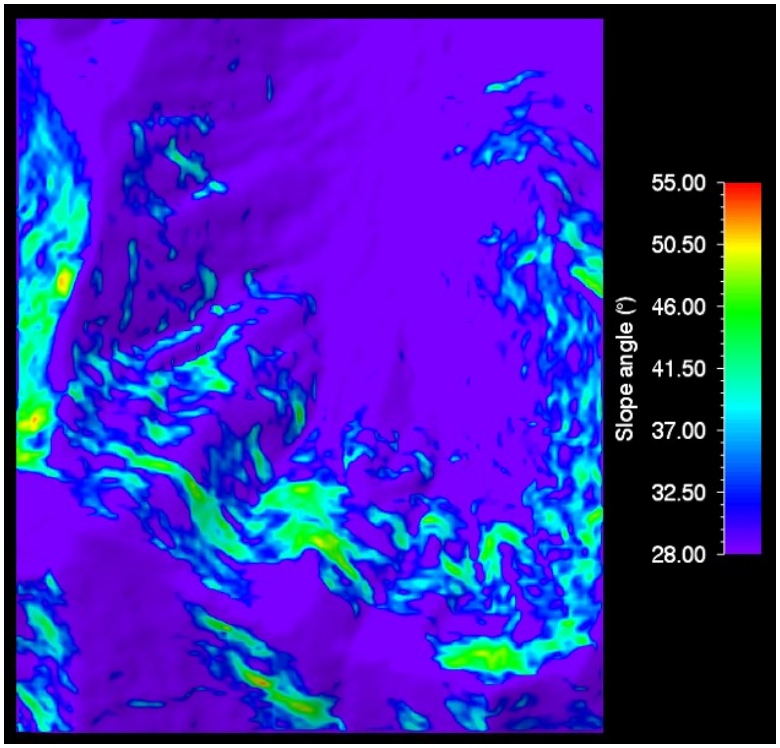
Şekil 65. RAMMS Bozdağ modeli

Sürtünme parametrelerinin seçiminde topografik veri analizi altyapısında kullanılan eğim açısı, yükseklik ve eğrilik haritaları sırasıyla Şekil 66, Şekil 67 ve Şekil 68'da verilmiştir.

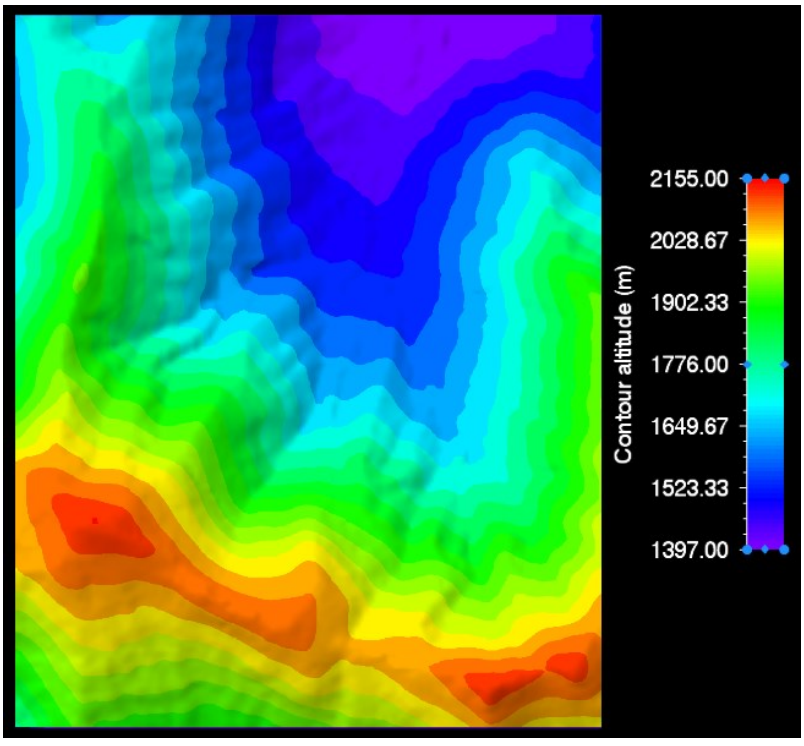
Şekil 66 incelendiğinde 28° ile 55° arasındaki eğim açıları haritada gösterilmektedir. UNESCO çığ atlasına göre çığ başlama bölgesi için 35°- 45° arasındaki eğimler en fazla frekansa sahiptir UNESCO (1981). Şekil 66'de bu aralıktaki eğimler turkuaz ve yeşil renklerde gösterilmektedir. Çığ başlangıç bölgelerinin seçiminde turkuaz ve yeşil renkteki bu bölgeler dikkate alınmıştır.

Şekil 67'de ise Bozdağ'ın yükseklik haritası verilmiştir. Kırmızı bölgeler yüksekliği 2100 m'den daha fazla olan alanları göstermektedir. Bu haritada kırmızı alanlara bakarak arazinin tepe noktaları görülebilir. Turuncu bölgeler ise yüksekliği 2000 m ile 2100 m arasındaki alanları göstermektedir. Turuncu renkler takip edildiğinde dağın sırt bölgeleri ortaya çıkmaktadır. Dağın kuzey yamacında kalan sarı yeşil alanlar ise çığın başlangıç ve hızlanma bölgeleridir. Mavi bölgelerin yüksekliği 1600'lü metreden daha küçük yükseklikleri göstermekte olup, çığın yavaşlama/durma alanlarını işaret etmektedir.

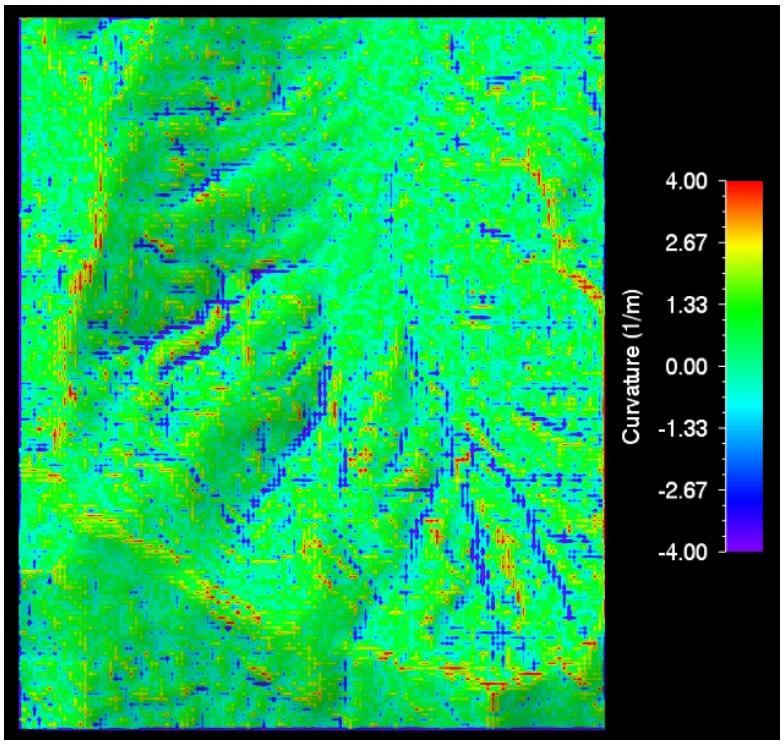
Şekil 68'de ise arazinin düzlükten ne oranda uzak olduğunu göstermektedir. Sırt bölgeleri kırmızı renkle, V şekilli arazi ise mavi renklerle gösterilmiştir. Yeşil bölgeler ise arazi eğriliğinin düzleme yakın olduğu alanları göstermektedir.



Şekil 66. Bozdağ arazi eğimi haritası



Şekil 67. Bozdağ yükseklik haritası



Şekil 68. Bozdağ eğrilik haritası

Çığın hacmi, sürtünme parametrelerini değiştiren etkenlerden birisidir. RAMMS'da çığ başlangıç bölgesi olarak saptanan Şekil 47 ve Şekil 48'deki 12 adet alanın büyüklük sınıflandırması yapılmalıdır. Çığ büyüklük sınıflandırması için Bartelt ve diğerleri (2013) kullanılmıştır (Tablo 9). Burada alan belirli olmasına rağmen hacme geçmek için çığ derinliği bilinmelidir.

Tablo 9. Çığların hacme göre sınıflandırılması, SLF (2013, s. 90)

Çığ Sınıflaması	Çığ Hacimi (m^3)
Büyük hacimli çığ	> 60.000
Orta hacimli çığ	25.000 – 60.000
Küçük hacimli çığ	5 – 25.000
Minik hacimli çığ	< 5.000

Şekil 47 ve Şekil 48'de gösterilen 12 adet çığ başlangıç bölgesinden çığ kopma derinliği 1 m olması durumunda başlangıç bölgesinin hacmi, kütlesi ve büyüklük sınıflandırması Tablo 10'de verilmiştir. Çığın yoğunluğu 300 kg/m^3 alınmıştır.

Tablo 10. Çığ kopma bölgelerinin hacim, kütle ve sınıflandırması

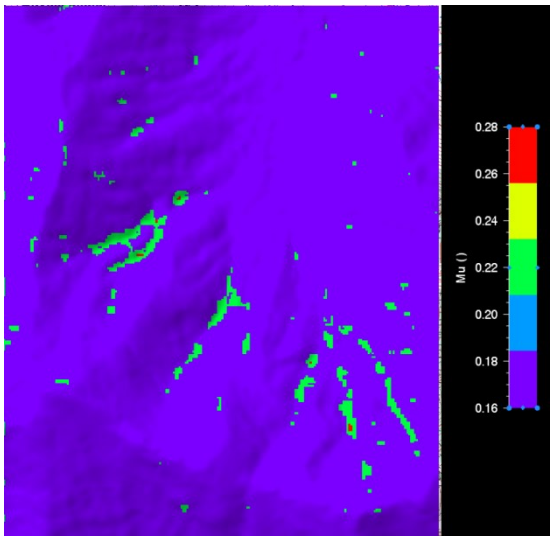
Çığ patikası adı	Kopan hacim (m^3)	Kopan kütle (t)	Büyüklük sınıfı
1	174400	52320	Orta
2	204469	61341	Büyük
3	39832	11950	Küçük
4	53675	16103	Küçük
5	86378	25914	Orta
6	69910	20973	Küçük
7	27281	8184	Küçük
8	22028	6608	Küçük
9	30094	9028	Küçük
10	26105	7832	Küçük
11	38069	11420	Küçük
12	33087	9926	Küçük

Sürtünme parametrelerinin değişiminde 1500 m'nin üstü, 1000 m – 1500 m arası ve 1000 m'nin altı olmak üzere 3 aralık belirlenmiştir. Arazi eğiminde ise sınırları açık eğim, kanallaşmış eğim, V şekilli eğim, düz alan eğimi ve ormanlık alan olmak üzere 5 farklı türde sürtünme katsayısı seçilmiştir (Tablo 11).

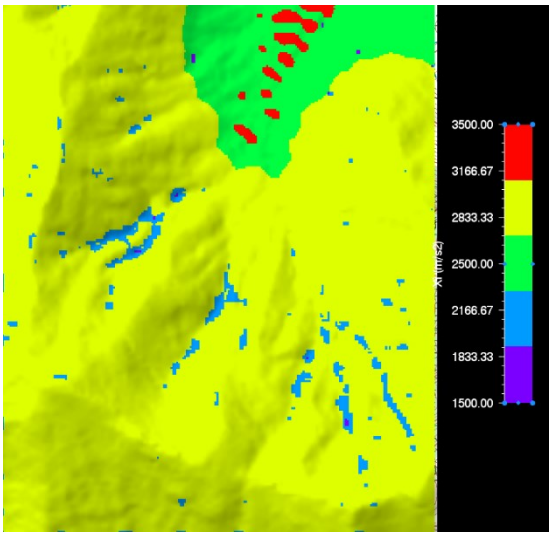
Tablo 11. 100 yıllık tekrarlama periyodu için sürtünme katsayıları, SLF (2013, s. 90)

	Yükseklik					
Çığ büyüklüğü	> 1500 m		1000 – 1500 m		> 1000 m	
Büyük hacimli çığ (> 60000 m^3)	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ
Sınırları açık eğim	0.165	3000	0.18	2500	0.2	2000
Kanallaşmış eğim	0.22	2000	0.23	1750	0.25	1500
V şekilli eğim	0.28	1500	0.3	1350	0.315	1200
Düz alan eğimi	0.15	4000	0.16	3500	0.18	3000
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400
Orta hacimli çığ (25 - 60000 m^3)	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ
Sınırları açık eğim	0.205	2500	0.22	2100	0.24	1750
Kanallaşmış eğim	0.26	1750	0.28	1530	0.29	1350
V şekilli eğim	0.33	1350	0.34	1200	0.37	1100
Düz alan eğimi	0.18	3250	0.2	2900	0.22	2500
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400
Küçük hacimli çığ (5 - 25000 m^3)	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ
Sınırları açık eğim	0.245	2000	0.26	1750	0.275	1500
Kanallaşmış eğim	0.29	1500	0.31	1350	0.32	1200
V şekilli eğim	0.38	1200	0.39	1100	0.41	1000
Düz alan eğimi	0.225	2500	0.24	2250	0.255	2000
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400
Minik hacimli çığ (5000 m^3)	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ
Sınırları açık eğim	0.28	1500	0.295	1400	0.31	1250
Kanallaşmış eğim	0.32	1250	0.34	1180	0.35	1050
V şekilli eğim	0.43	1050	0.44	1000	0.45	900
Düz alan eğimi	0.265	1750	0.275	1600	0.285	1500
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400

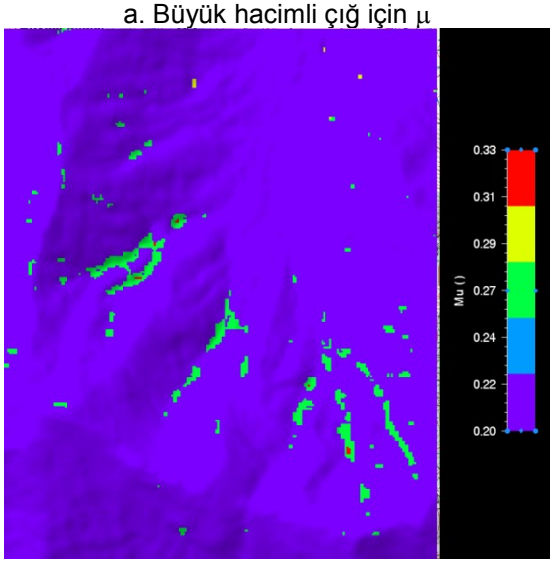
Tablo 10 ve Tablo 11 dikkate alınarak Bozdağ çalışma alanı üzerinde değişken sürtünme parametreleri RAMMS üzerinde uygulanmıştır (Şekil 69).



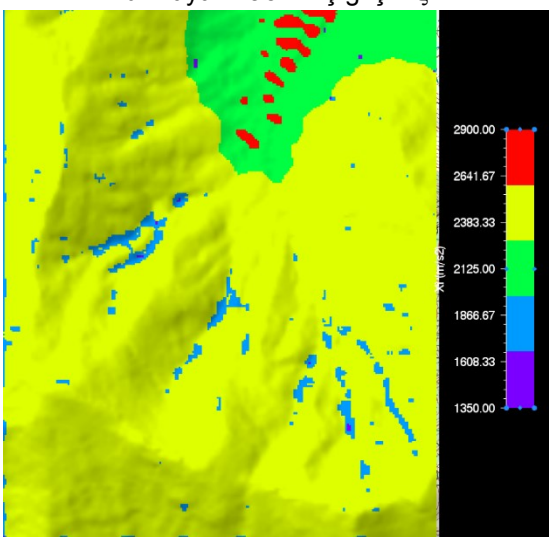
a. Büyük hacimli çığ için μ



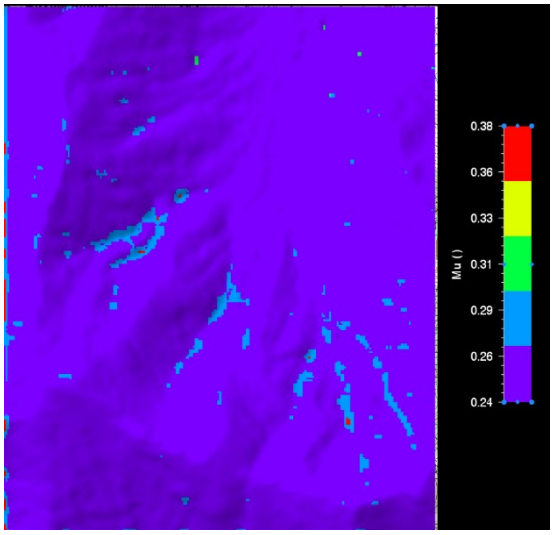
b. Büyük hacimli çığ için ξ



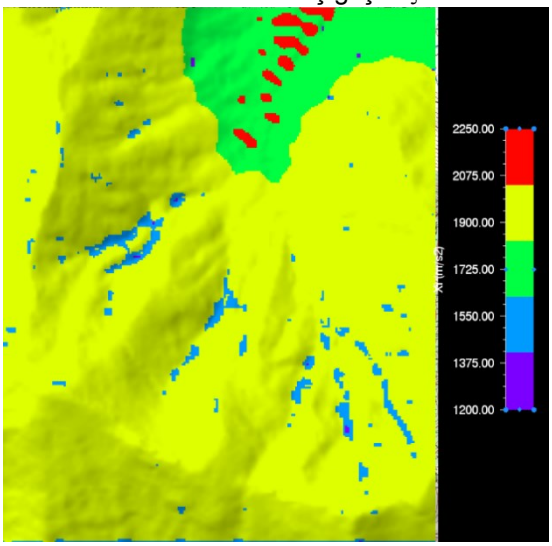
c. Orta hacimli çığ için μ



d. Orta hacimli çığ için ξ



e. Küçük hacimli çığ için μ

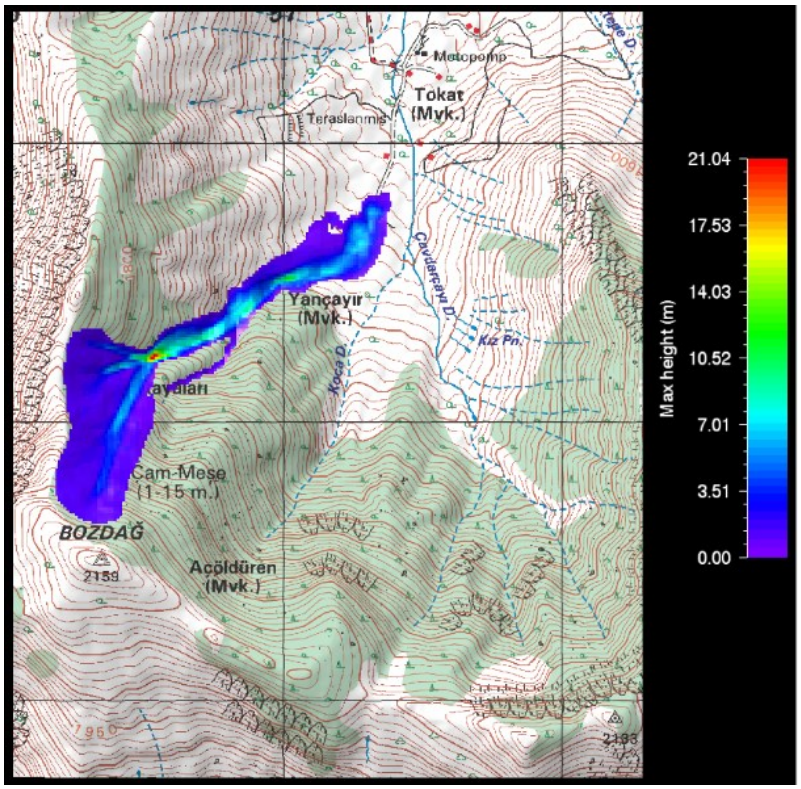


f. Küçük hacimli çığ için ξ

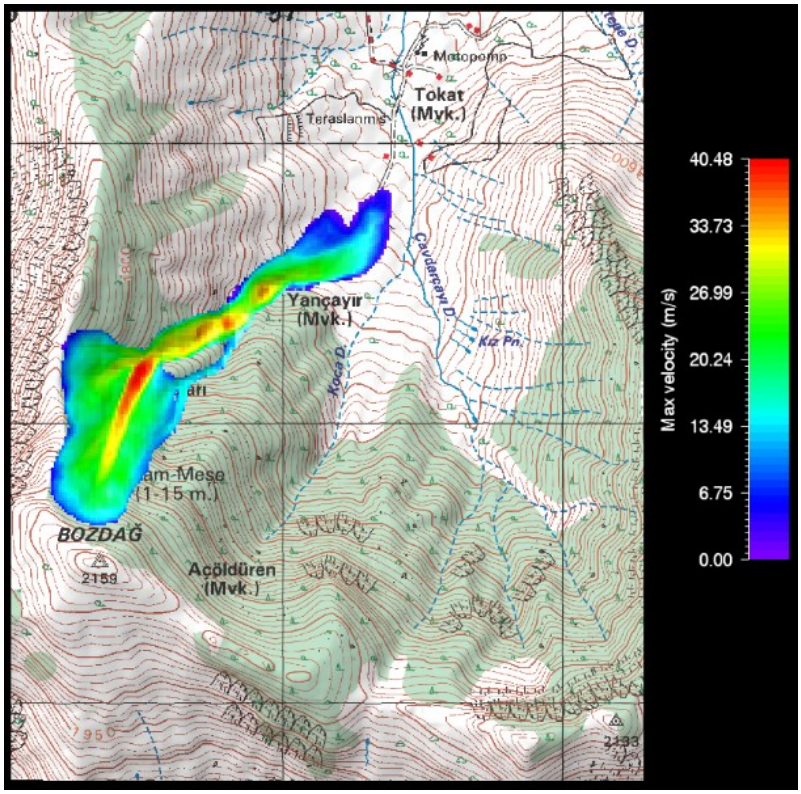
Şekil 69. 100 yıllık tekrarlama süresi için sürtünme katsayılarının topografya ile değişimi

Çığ dinamik modellemesi için karelaj çözünürlüğü 10 m, çığın yoğunluğu 300 kg/m^3, çığ akma süresi 300 saniye, çığ kopma derinliği 1 m alınarak analizler yapılmıştır. Bu analizlerde sürtünme parametreleri için iki yöntem kullanılmıştır. Birinci durumda ξ = 2000 m/s^2, μ=0.2, kohezyon=0 olarak sabit değerler seçilmiştir. İkinci durumda ise değişken sürtünme parametreleri için 100 yıllık tekrarlama süresi, çığın hacmi, yükseklik ve arazi şekline göre değişken parametreler uygulanmıştır. Bütün arazi boyunca sabit sürtünme parametreleri kullanılması durumunda maksimum kar yüksekliği, maksimum çığ hızı, maksimum çığ basıncı sırasıyla Şekil 70, Şekil 71 ve Şekil 72'de verilmiştir. Sürtünme parametrelerindeki gibi değişken olarak araziye uygulanması halinde elde edilen maksimum kar yüksekliği, maksimum çığ hızı, maksimum çığ basıncı sırasıyla Şekil 73, Şekil 74 ve Şekil 75'te gösterilmiştir. 1 No.lu çığ patikası için sabit ve değişken sürtünme parametreleri ile dinamik modelleme sonucunda maksimum çığ yüksekliği sırasıyla 21.04 m, 22.53 m; maksimum çığ hızı sırasıyla 40.48 m/s, 42.69 m/s; maksimum çığ basıncı 491.60 kPa, 546.85 kPa'dır. Burada dinamik sürtünme parametreleri ile yapılan modelleme sonucunda daha büyük kar yüksekliği, çığ hızı ve çığ basıncı oluştuğu görülmektedir. Ayrıca dinamik sürtünme parametreleri ile yapılan modelleme sonucunda çığ durma mesafesinin daha kısa olduğu anlaşılmaktadır. Diğer çığ patikalarına ait sonuçlar çok yer kaplamaması için tek bir şekil altında sunulmuştur. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 No.lu çığ patikalarına ait modelleme çalışmaları sırasıyla Şekil 76, Şekil 77, Şekil 78, Şekil 79, Şekil 80, Şekil 81, Şekil 82, Şekil 83, Şekil 84, Şekil 85 ve Şekil 86'da verilmiştir. Maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncının sabit ve değişken sürtünme parametreleri kullanılması durumunda değerleri özet olarak

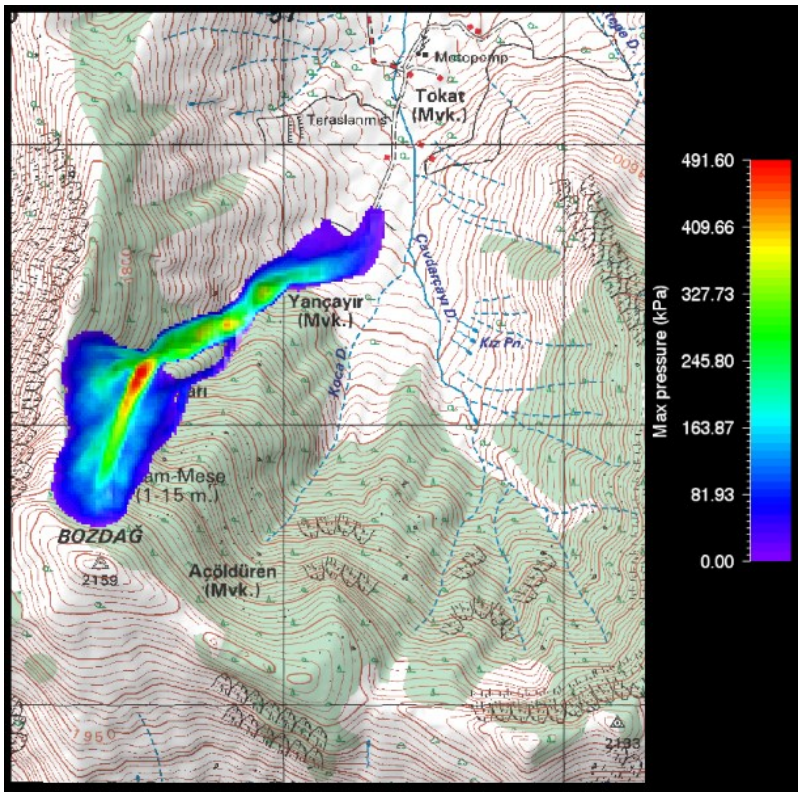
Tablo 12. 'de gösterilmektedir.



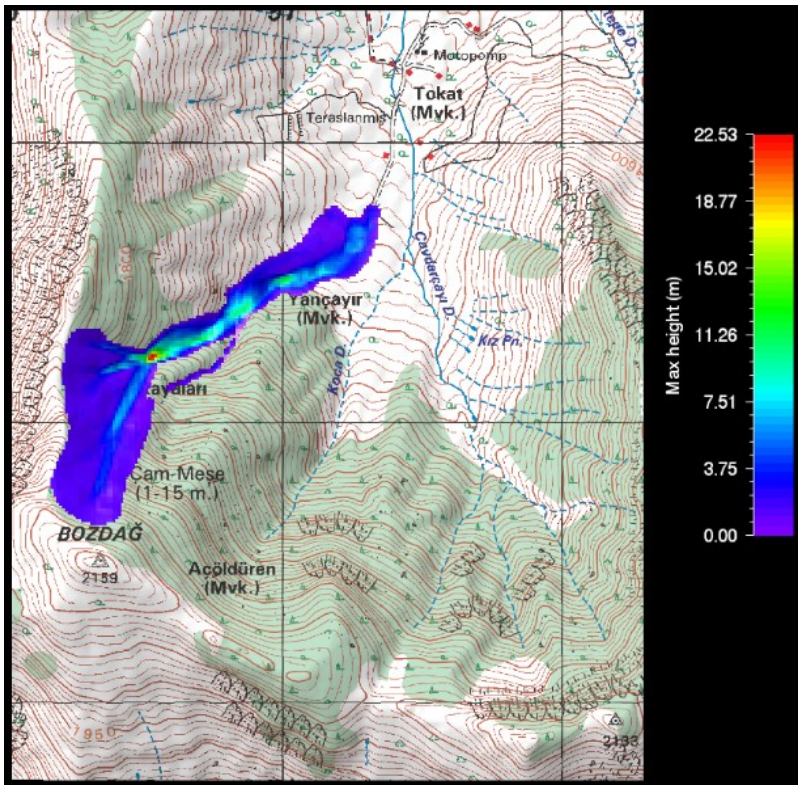
Şekil 70. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



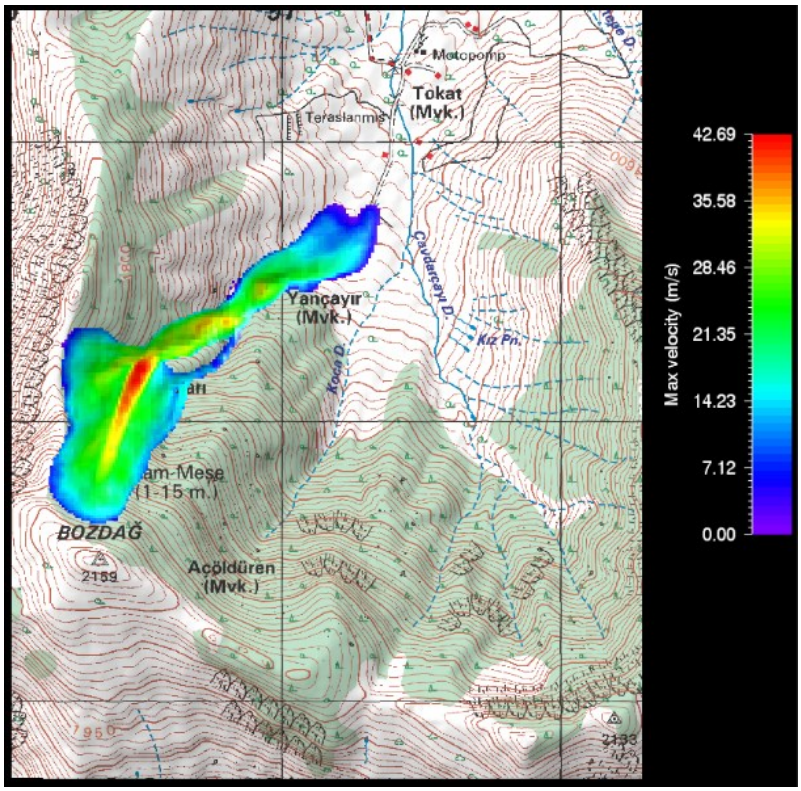
Şekil 71. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



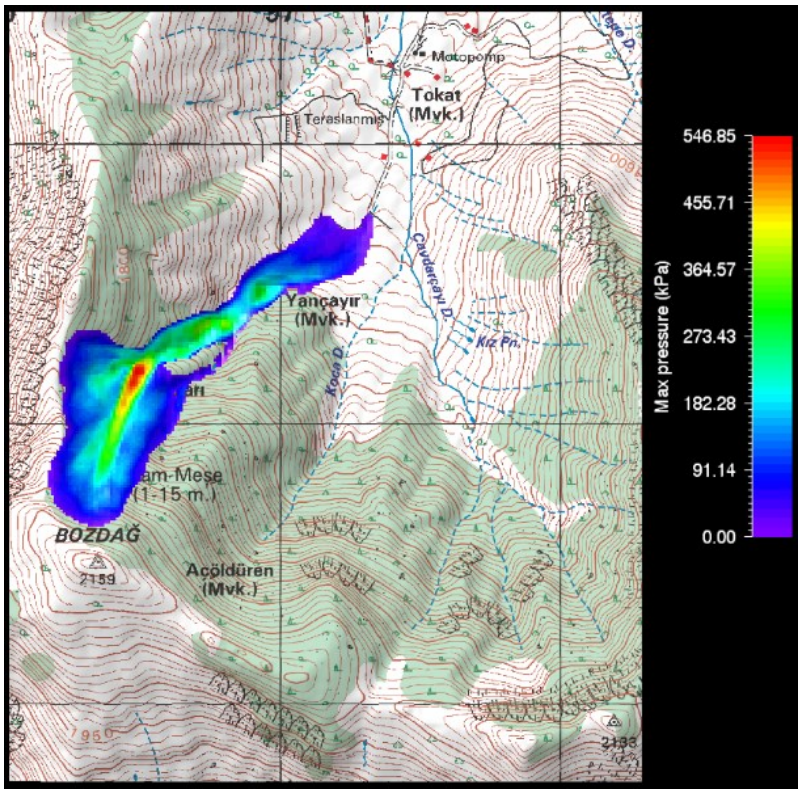
Şekil 72. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)



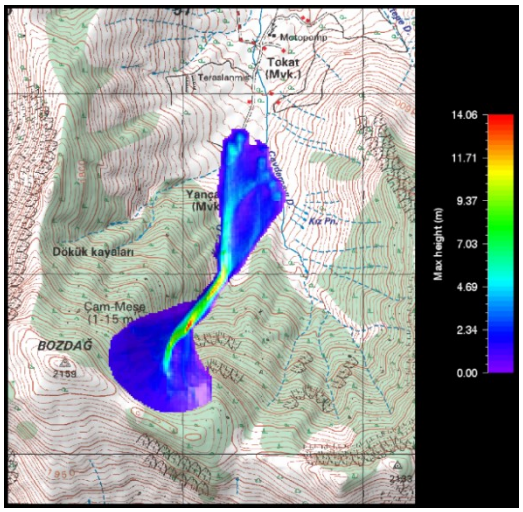
Şekil 73. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



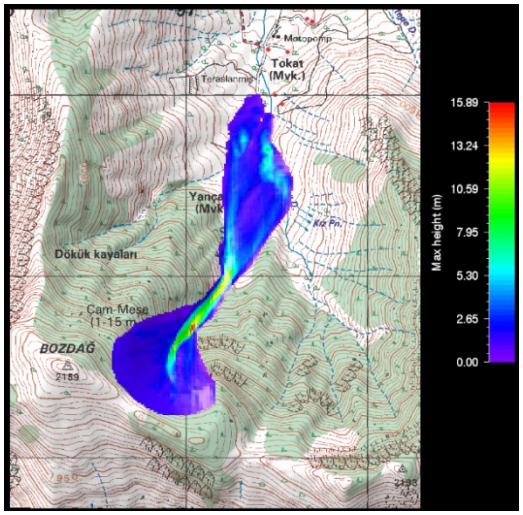
Şekil 74. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)



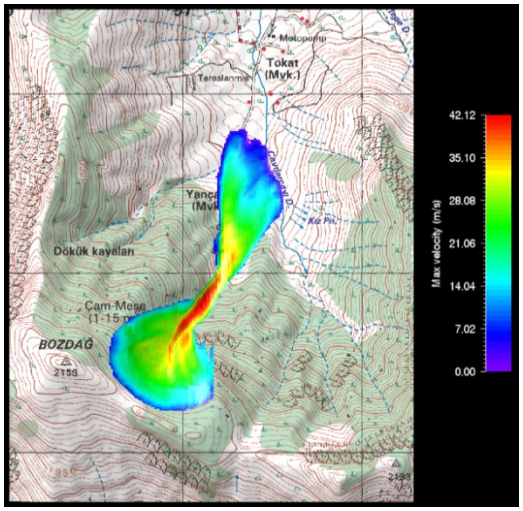
Şekil 75. 1 No.lu çığ patikası için maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)



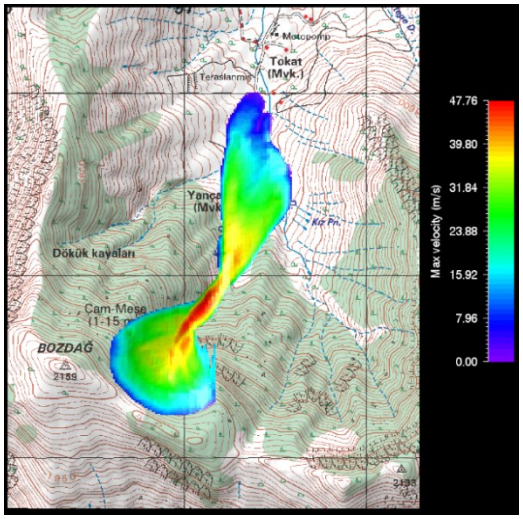
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



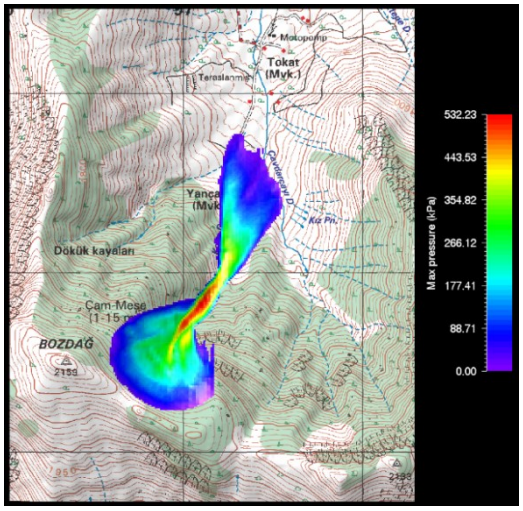
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



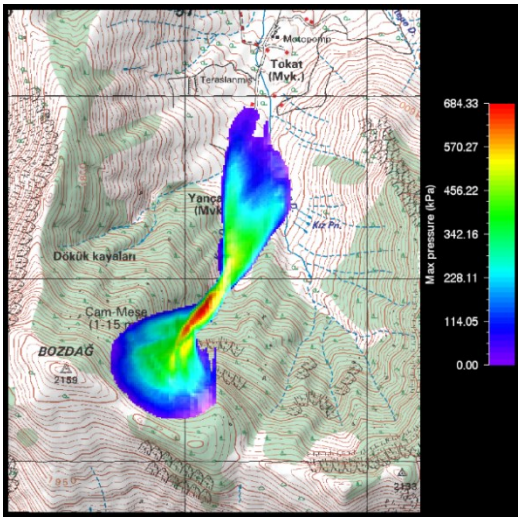
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

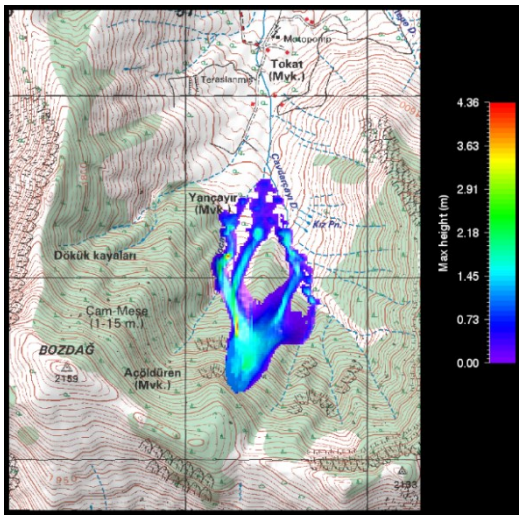


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

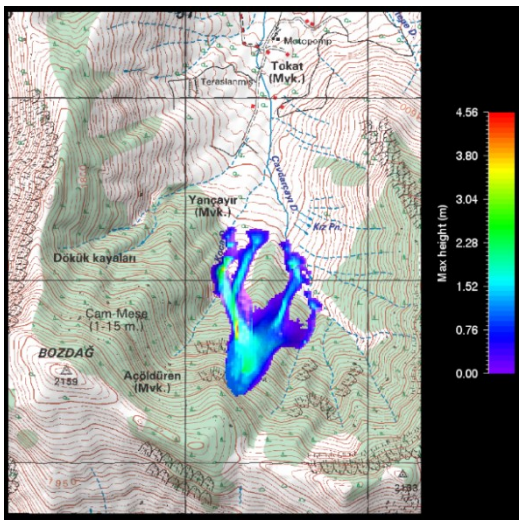


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

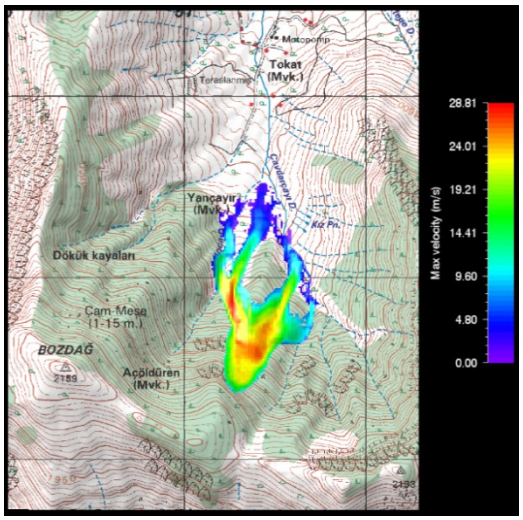
Şekil 76. 2 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



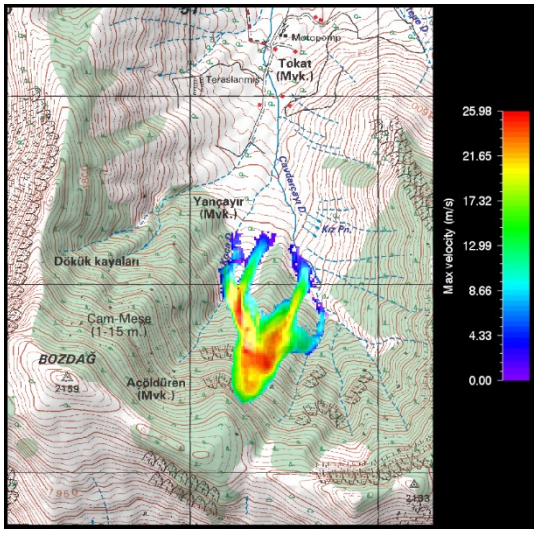
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



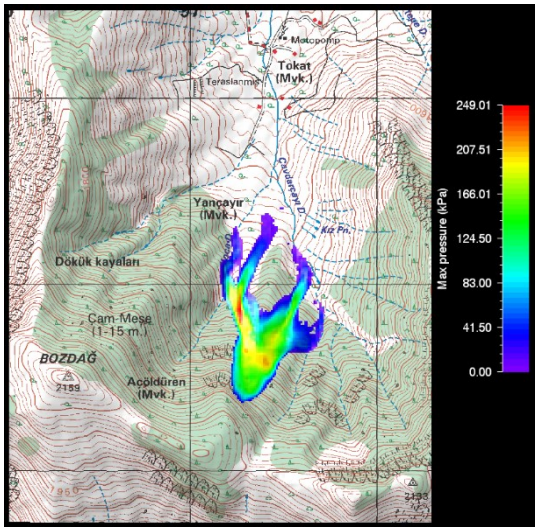
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



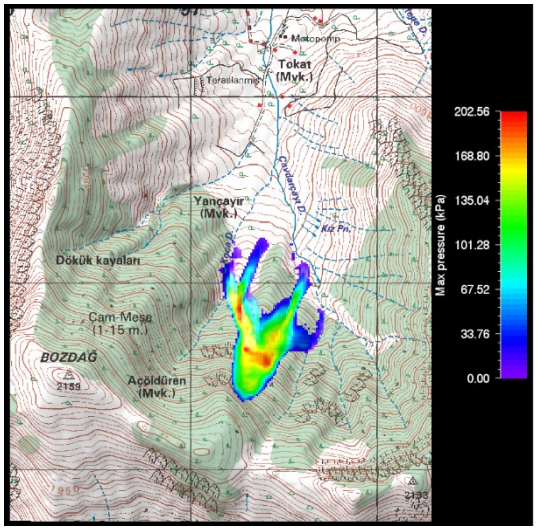
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

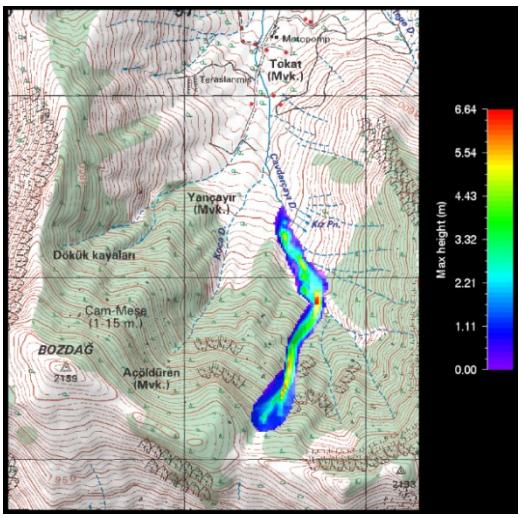


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

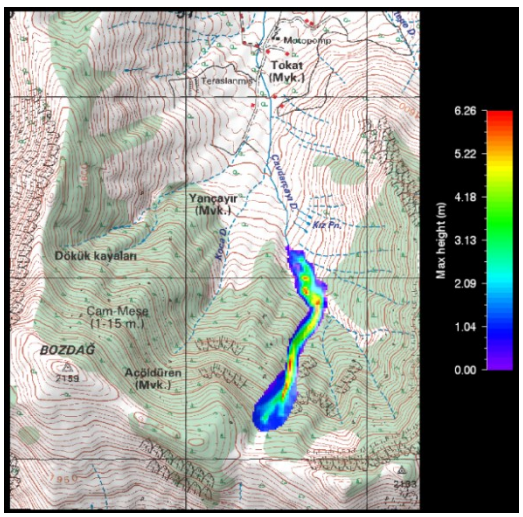


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

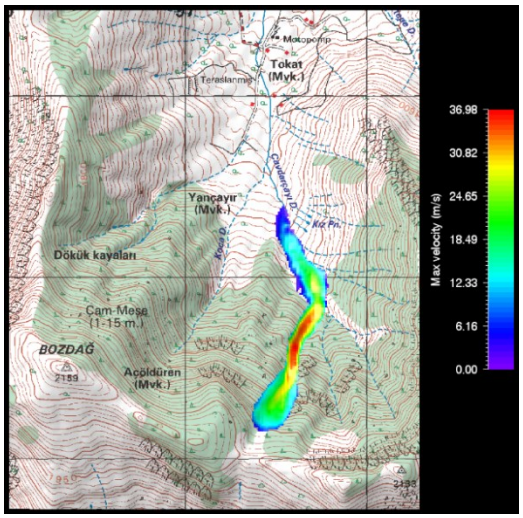
Şekil 77. 3 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



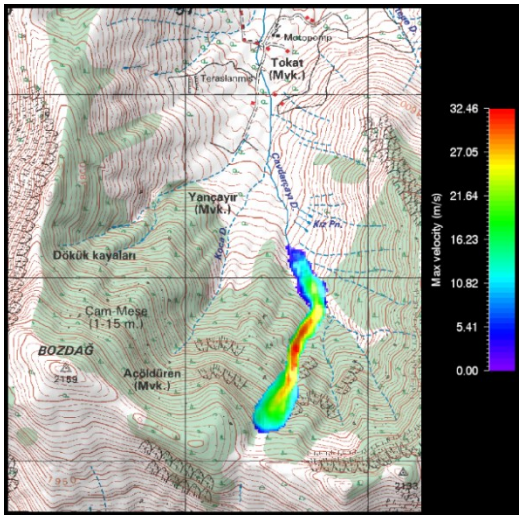
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



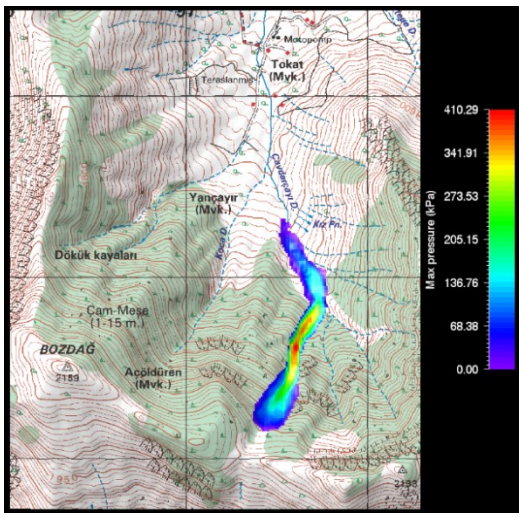
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



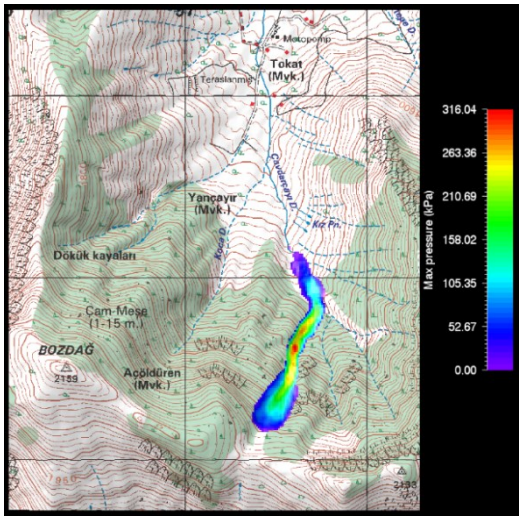
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

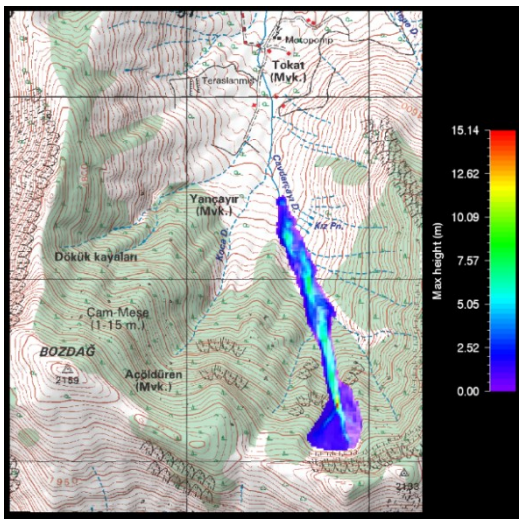


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

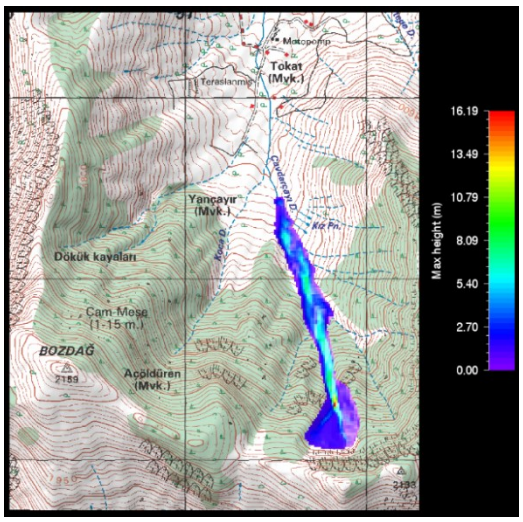


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

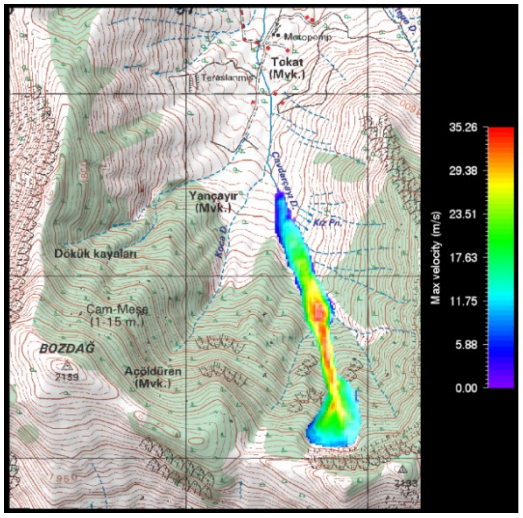
Şekil 78. 4 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



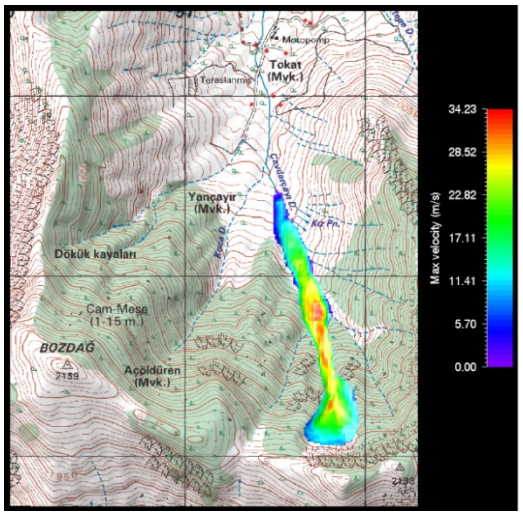
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



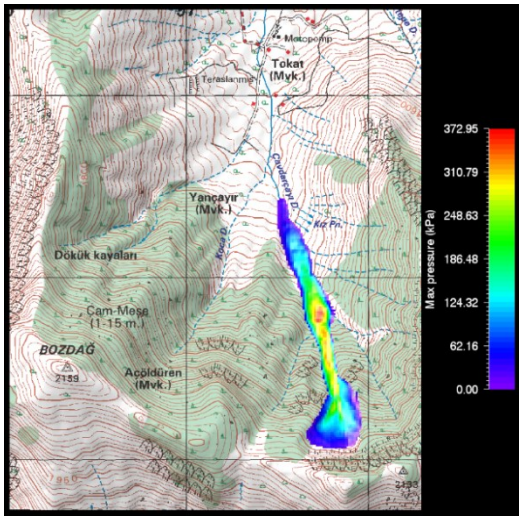
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



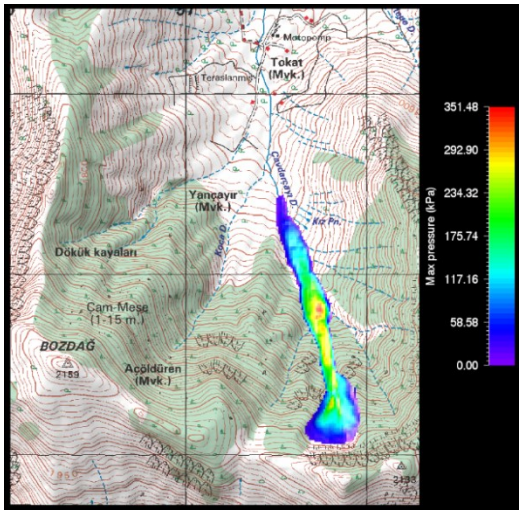
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

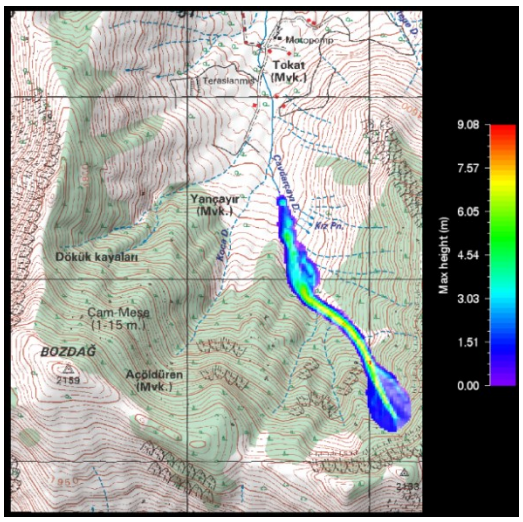


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

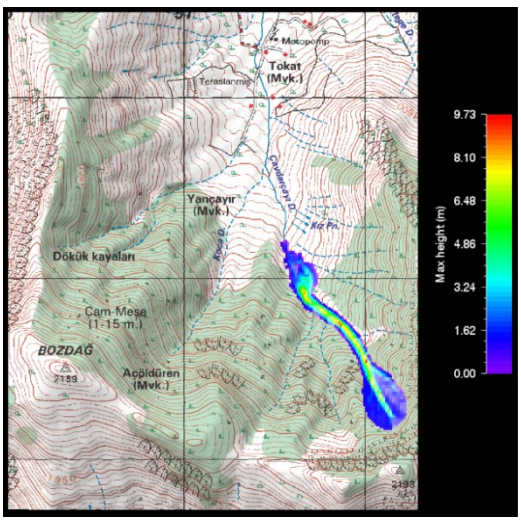


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

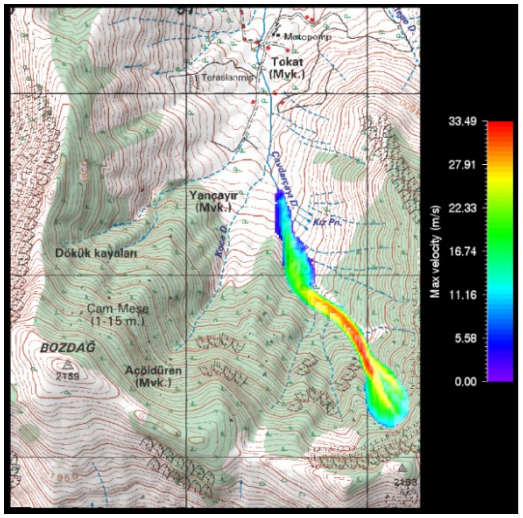
Şekil 79. 5 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



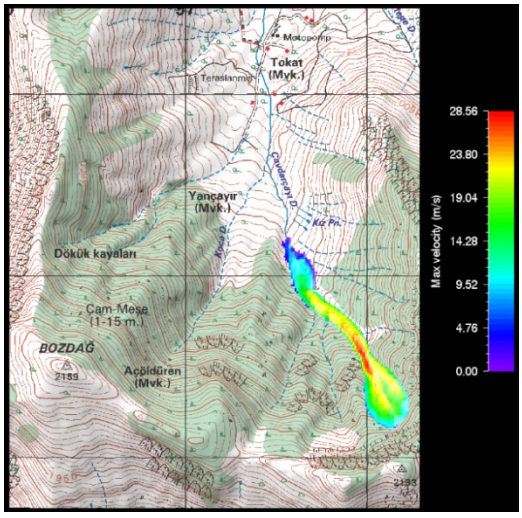
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



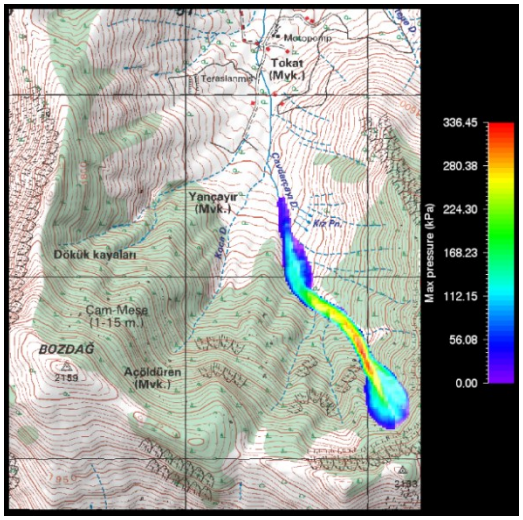
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



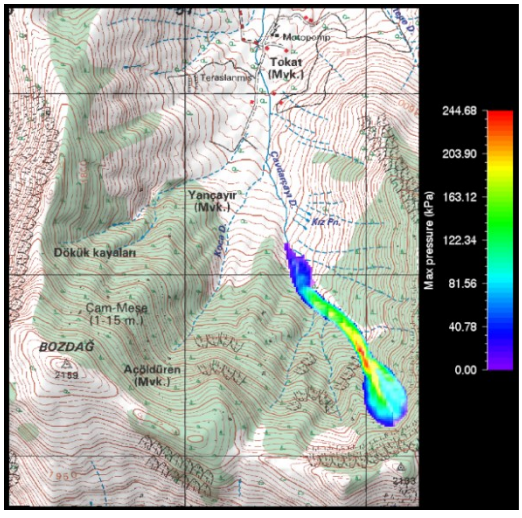
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

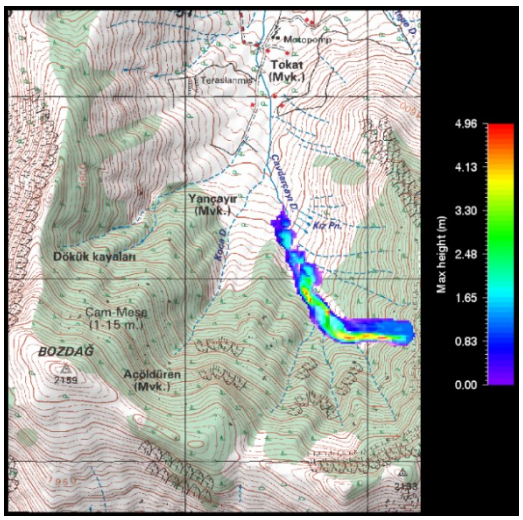


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

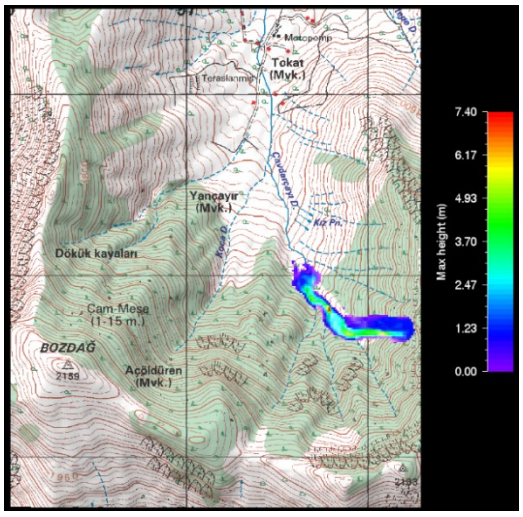


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

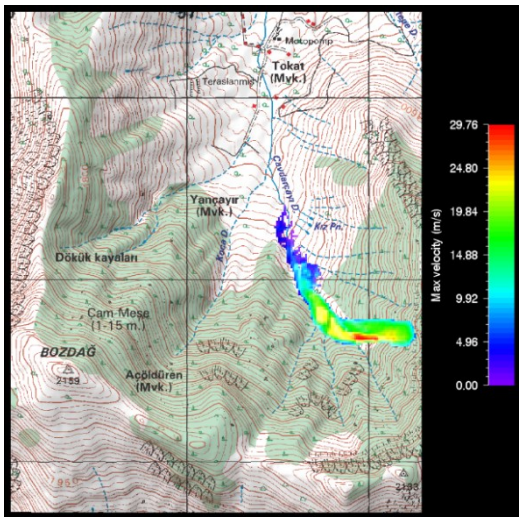
Şekil 80. 6 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



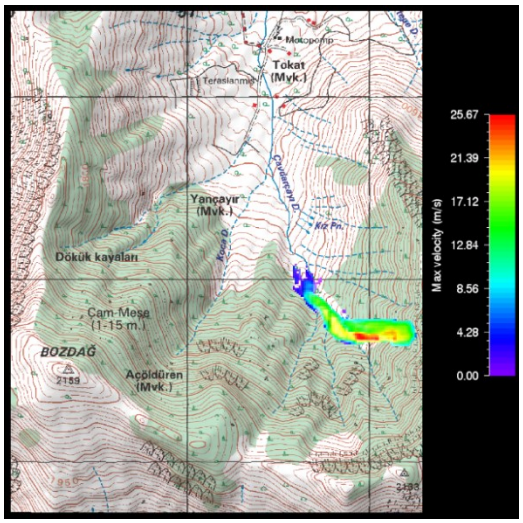
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



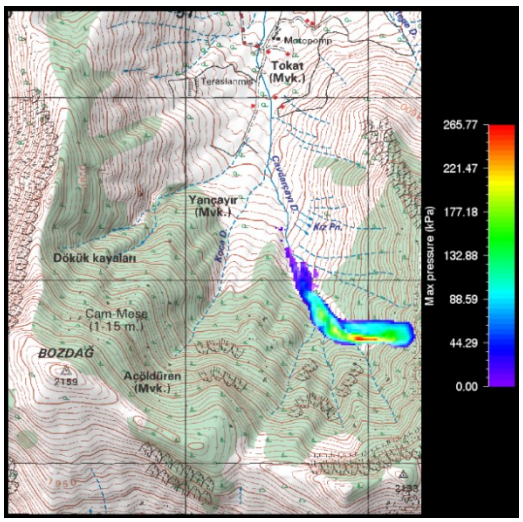
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



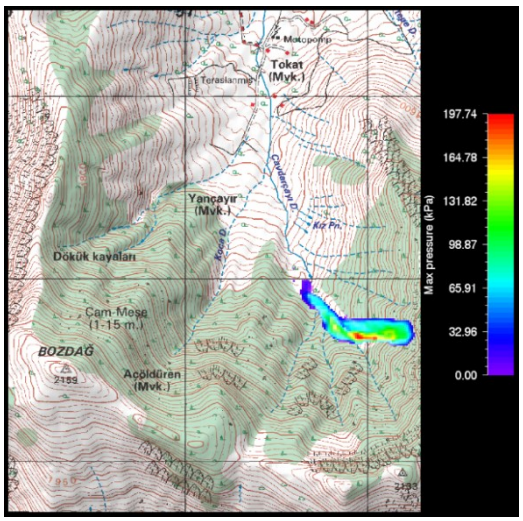
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

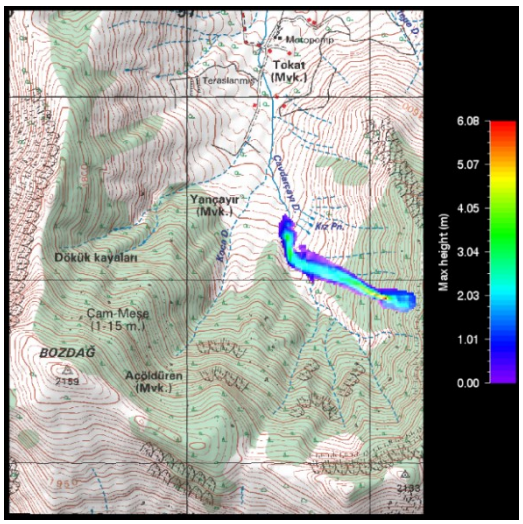


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

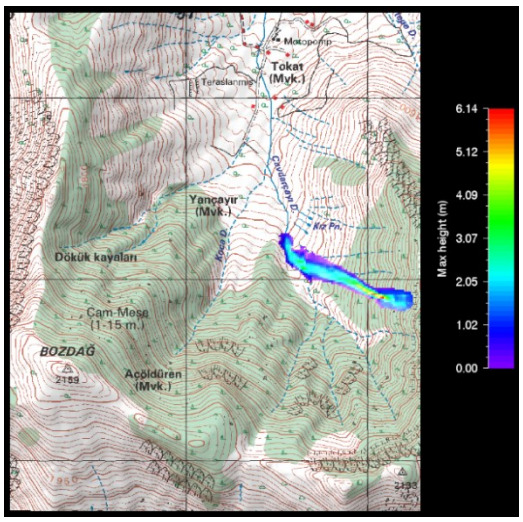


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

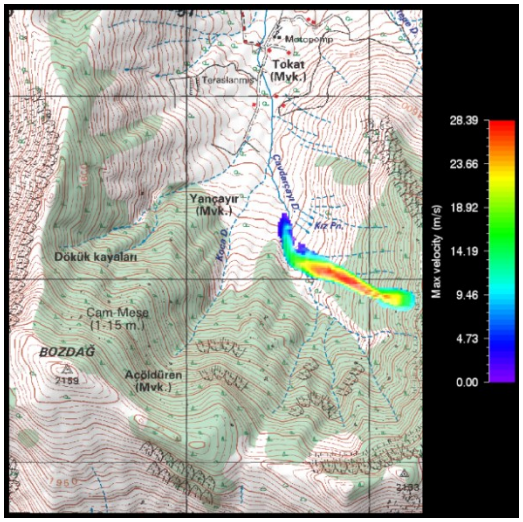
Şekil 81. 7 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



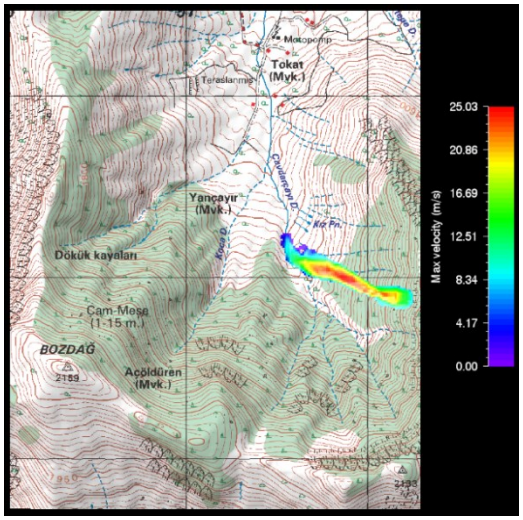
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



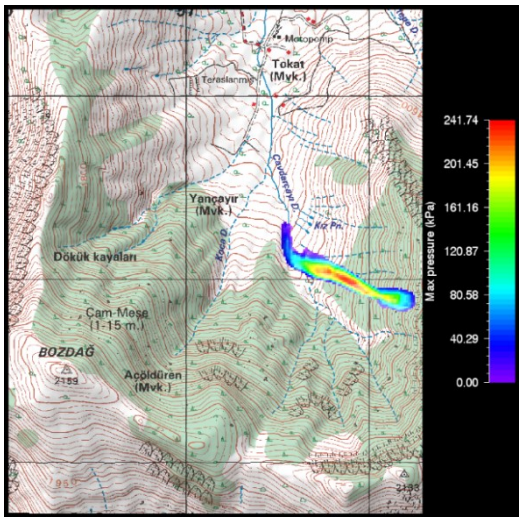
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



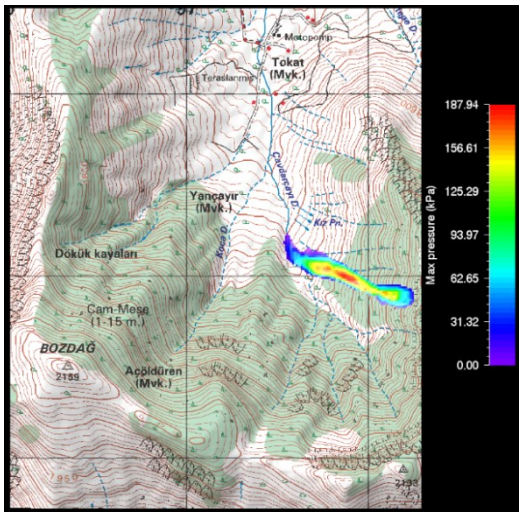
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

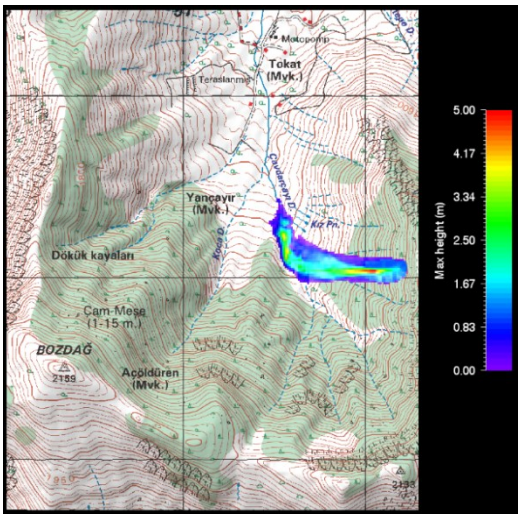


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

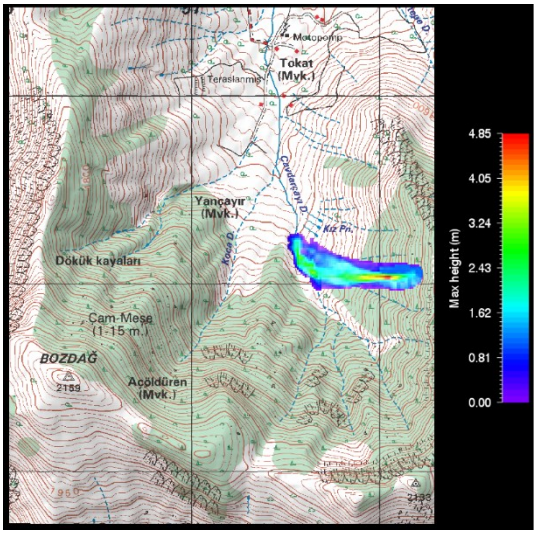


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

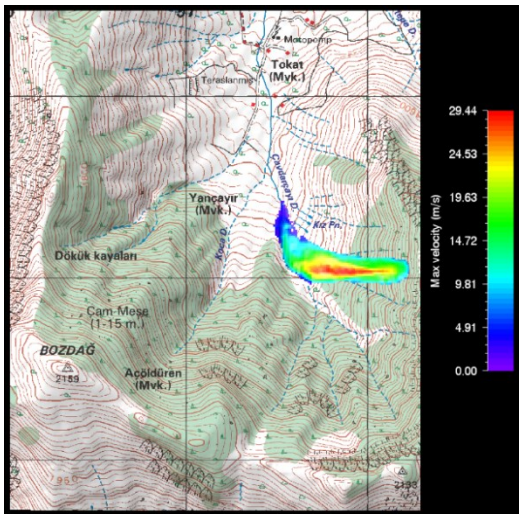
Şekil 82. 8 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



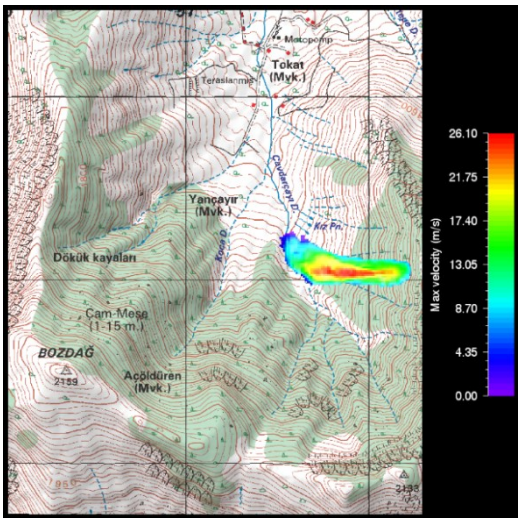
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



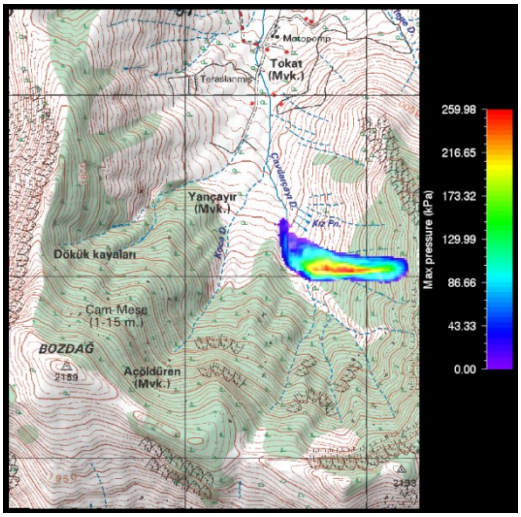
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



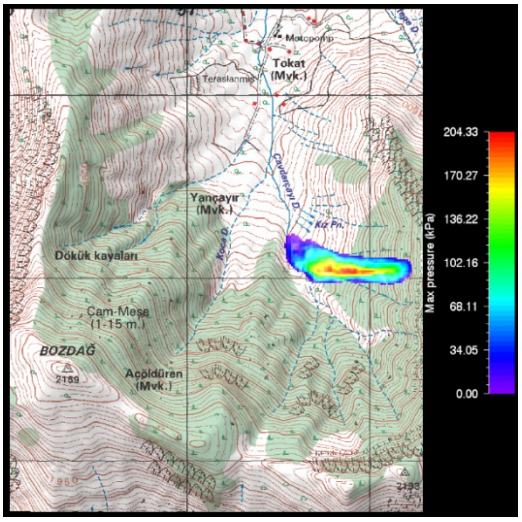
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

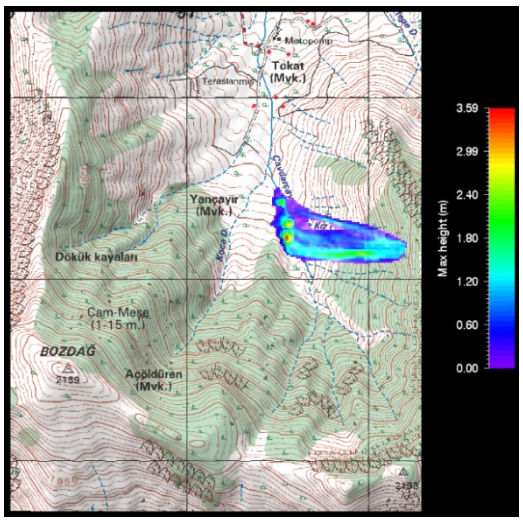


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

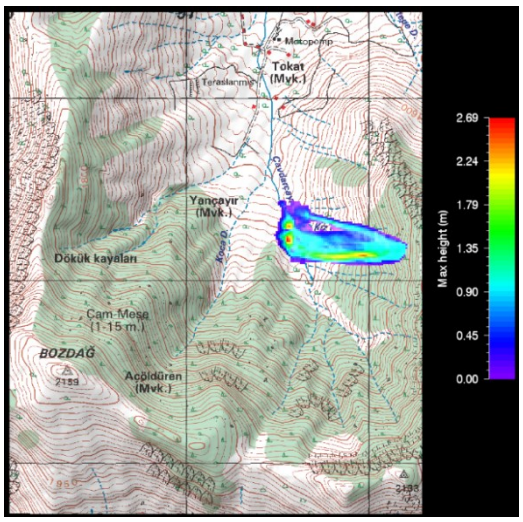


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

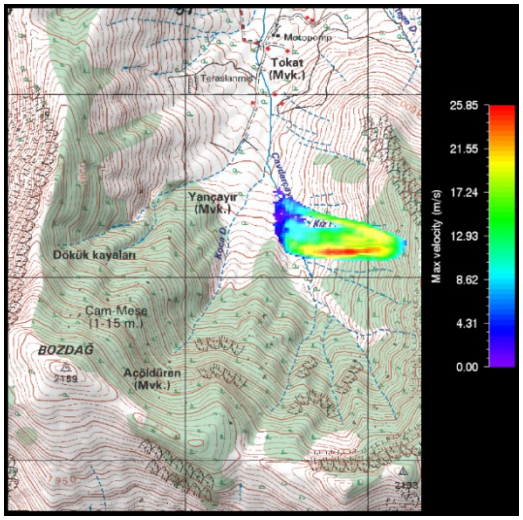
Şekil 83. 9 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



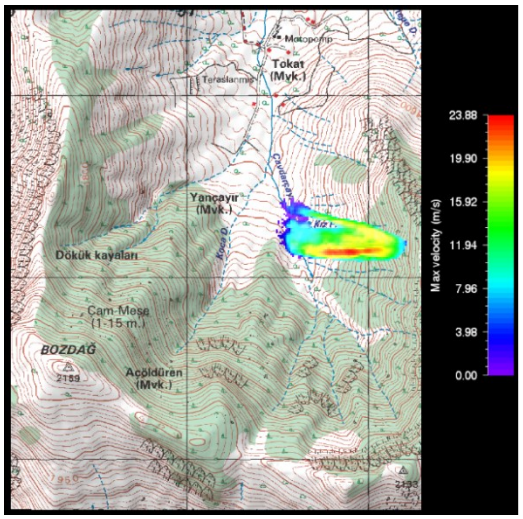
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



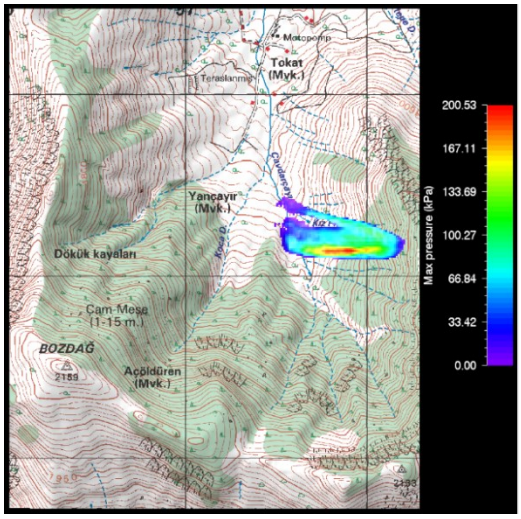
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



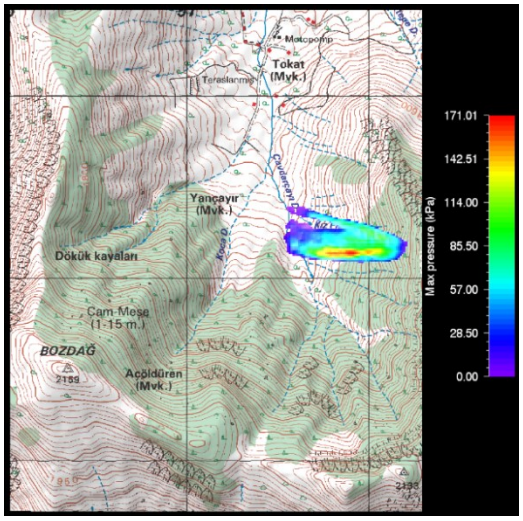
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

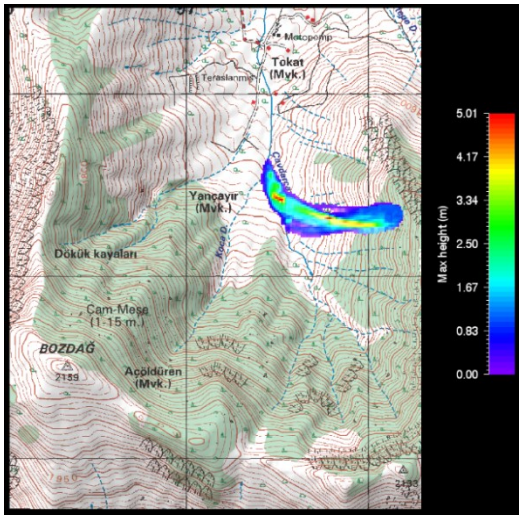


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

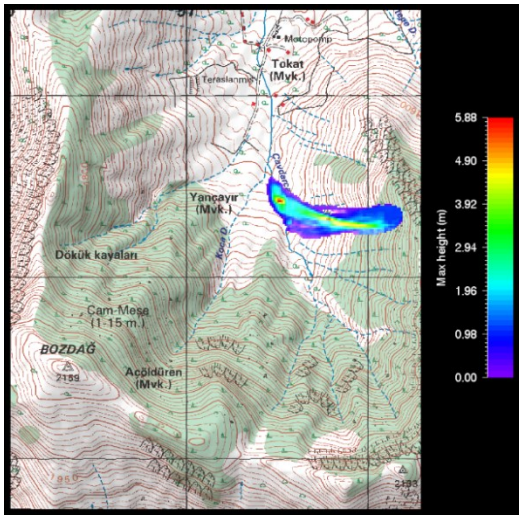


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

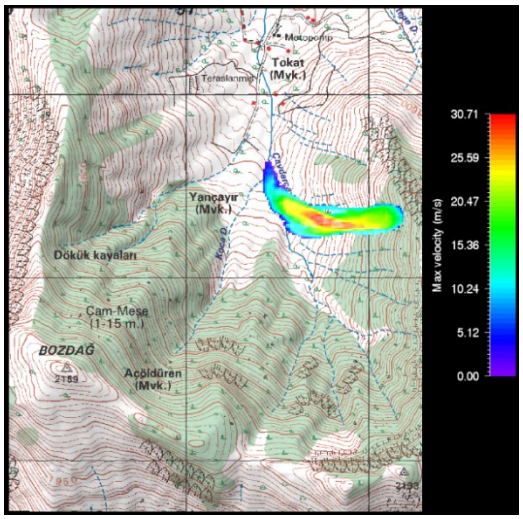
Şekil 84. 10 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



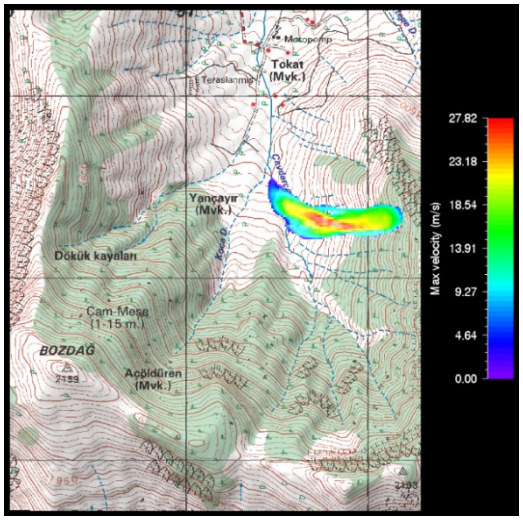
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



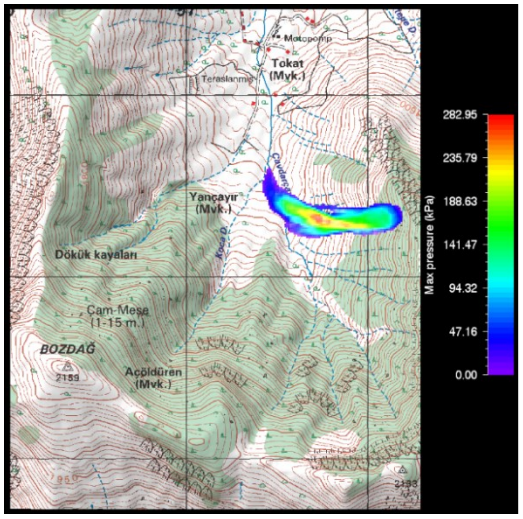
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



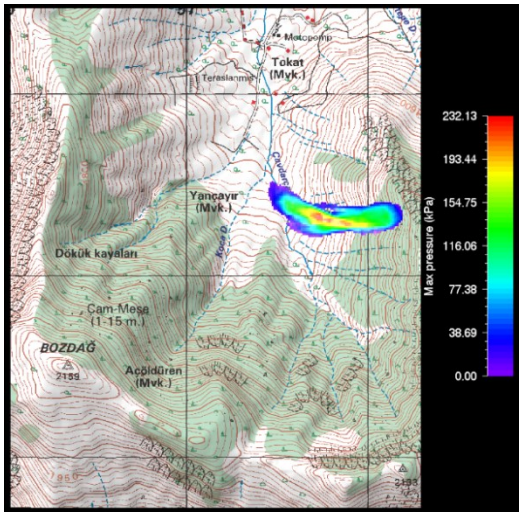
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

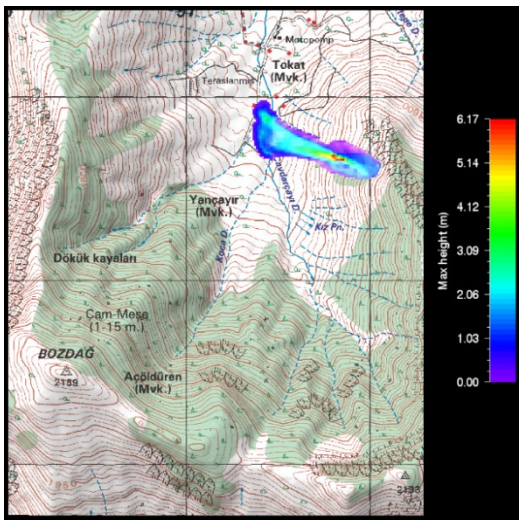


e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)

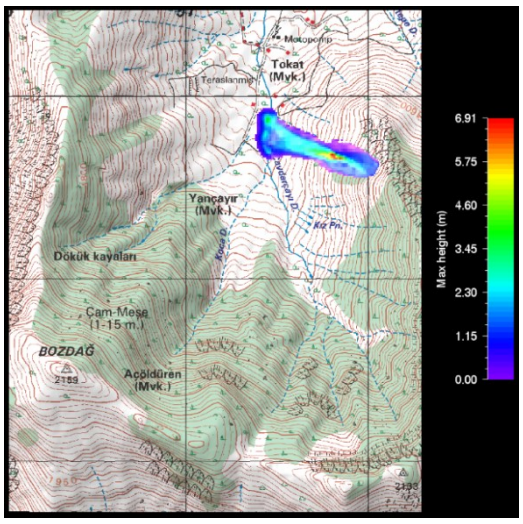


f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

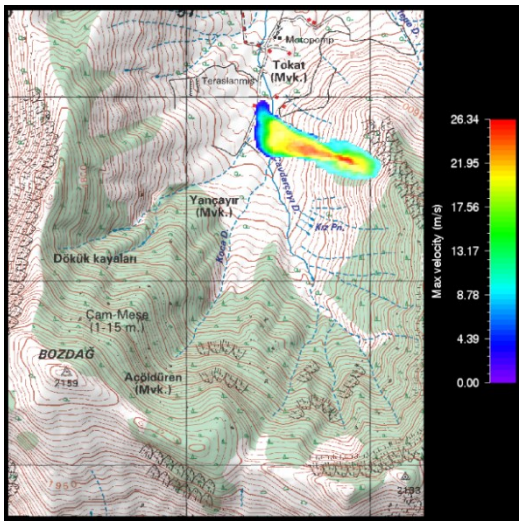
Şekil 85. 11 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı



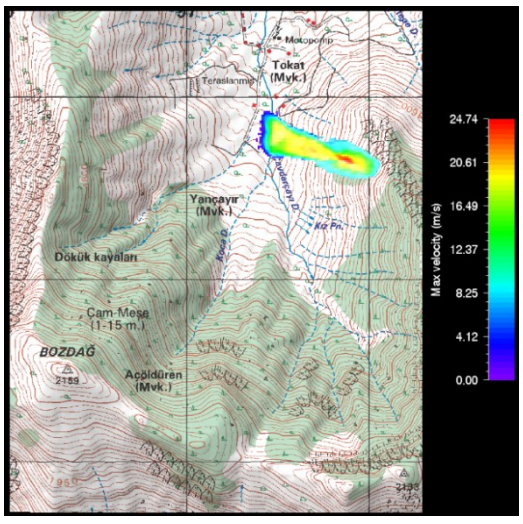
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



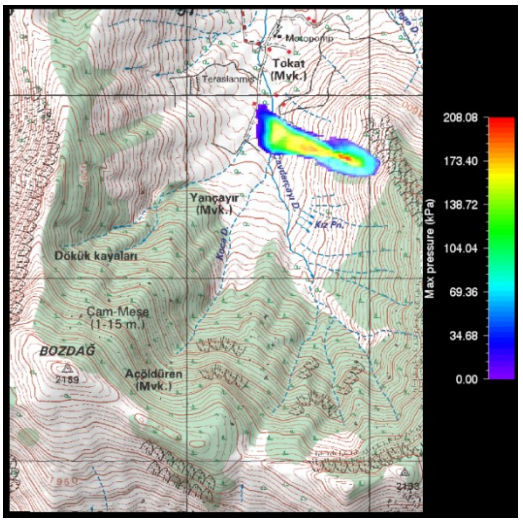
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)



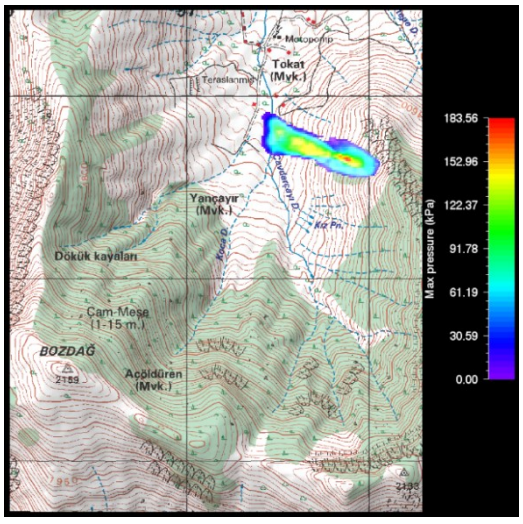
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)



e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)



f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

Şekil 86. 12 No.lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı

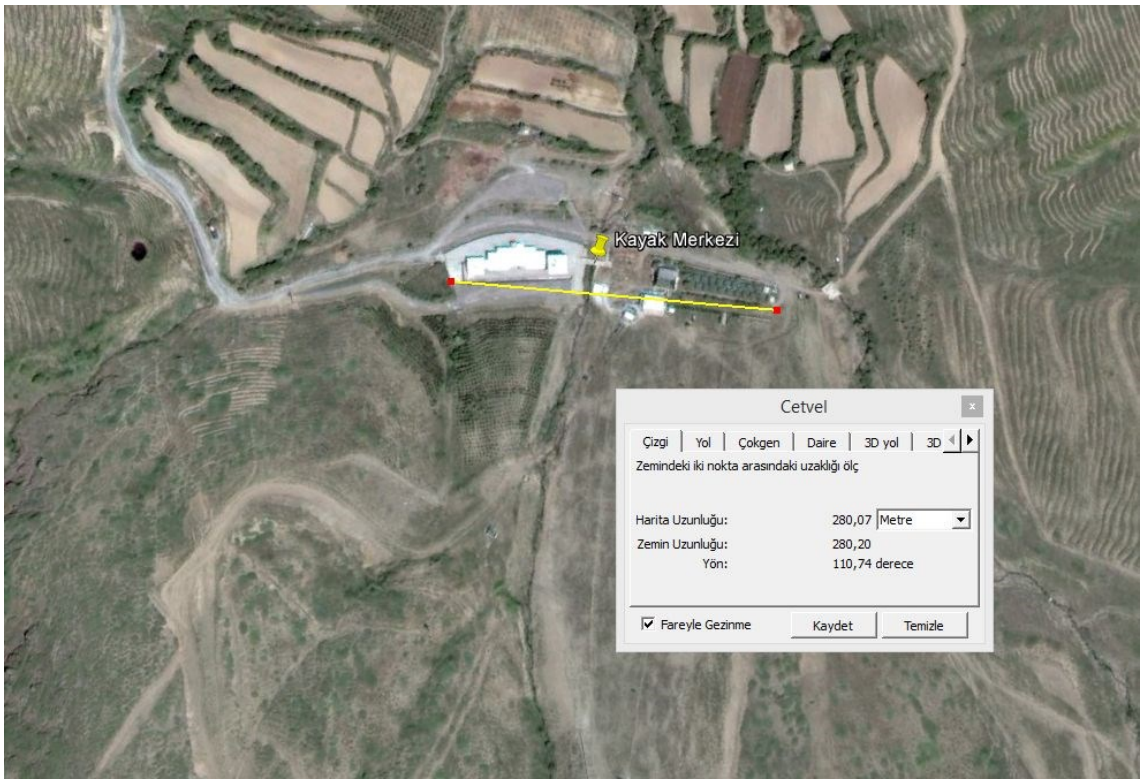
Tablo 12. Çığ patikalarının maksimum çığ yüksekliği, hızı ve basıncı (sabit ve değişken sürtünme parametreleri)

Patika No	Sürtünme Parametreleri (μ, ξ)	Maksimum çığ yüksekliği (m)	Maksimum çığ hızı (m/s)	Maksimum çığ basıncı (kPa)
1	Sabit	21.04	40.48	491.60
	Değişken	22.53	42.69	546.85
2	Sabit	14.06	42.12	532.23
	Değişken	15.89	47.76	684.33
3	Sabit	4.36	28.81	249.01
	Değişken	4.56	25.98	202.56
4	Sabit	6.64	36.98	410.29
	Değişken	6.26	32.46	316.04
5	Sabit	15.14	35.26	372.95
	Değişken	16.19	34.23	351.48
6	Sabit	9.08	33.49	336.45
	Değişken	9.73	28.56	244.68
7	Sabit	4.96	29.76	265.77
	Değişken	7.4	25.67	197.74
8	Sabit	6.08	28.39	241.74
	Değişken	6.14	25.03	187.94
9	Sabit	5.00	29.44	259.98
	Değişken	4.85	26.10	204.33
10	Sabit	3.50	25.85	200.53
	Değişken	2.69	23.88	171.01
11	Sabit	5.01	30.71	282.95
	Değişken	5.88	27.82	232.13
12	Sabit	6.17	26.34	208.08
	Değişken	6.91	24.74	183.56

Rapin (2002), Schaerer ve McClung (2006), Canadian Avalanche Association CCA (2007), Glade ve Stötter (2008) kaynaklarından derlenen bilgilere göre basıncı 50 kPa olan çığlar, araçlar için yıkıcı, büyük araçlar ve küçük binalar için zarar vericidir. Basıncı 200 kPa olan çığlar ise binalar için yıkıcı içerisindeki insanlar için risklidir. Basıncı 500 kPa olan çığlar ise büyük yapılar için bile yıkıcı, yerleşim yerlerini tehdit edici boyuttadır. Tablo 12'de sunulan sonuçlar maksimum değerleri göstermektedir. Çığların maksimum basınç değerlerine göre yorumda bulunmamak gerekir. Bu değerlerin yorumlanması için harita üzerinde sorgulama yapılan lokasyona göre çığ, yüksekliği, hızı veya basıncı değerlendirilmelidir.

Tablo 12. ’de elde edilen değerler çığ tehlike haritalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Örneğin İsviçre’de çığ şiddeti ve frekansı yorumlanarak çığ tehlike haritaları oluşturulmaktadır (Loat, 2005).

RAMMS yazılımı çığ patikası boyunca istenilen yerde sonuçların elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Örneğin çığ barajlarının altyapı çalışmaları esnasında istenilen noktada alınacak veriler oldukça yararlı olmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde 2 No’lu çığ patikasından 1 m derinliğinde çığ kopması durumunda Bozdağ Kayak Merkezi’nin nasıl etkileneceği senaryo çığ ile araştırılmıştır. 2 No.lu çığ patikasının seçilme sebebi Kayak Merkezi’ni en çok etkileyecek patikalardan birisi olması nedenidir. Kayak Merkezi ana konaklama merkezi, yemek salonu, lift tesisleri, depolar ve konaklama kulübelerinden oluşmaktadır. Yaklaşık olarak bu tesislerin uzunluğu 280 m’dir (Şekil 87).



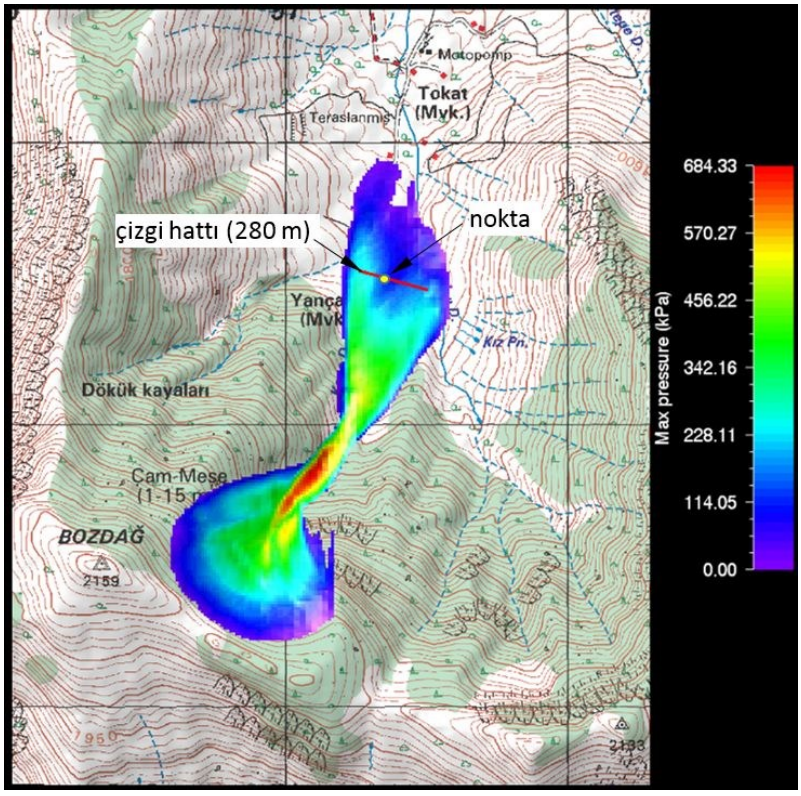
Şekil 87. Bozdağ Kayak Merkezi çizgi profili

280 m’lik kayak merkezi yapı hattı RAMMS’da çizgi profili olarak yerleştirilmiştir (Şekil 88). Şekil 88’da çizgi profilinin üzerinde yer alan dere yatağı nokta olarak gösterilmiştir. Burası çığ akışı tarafından en fazla etkilenecek noktadır.

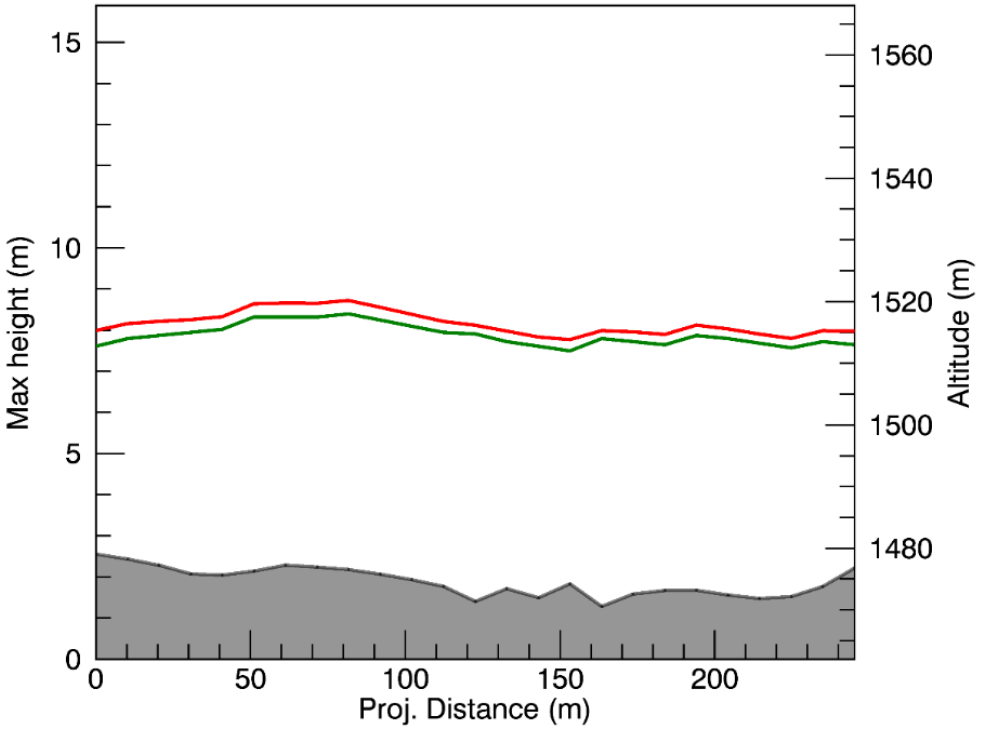
Çizgi profili üzerinde maksimum çığ yüksekliğinin arazi profili ile değişimi Şekil 89’da sunulmuştur. Gri olan alan RAMMS’da belirlenen hat boyunca (Şekil 88) maksimum kar

yüksekliğini göstermektedir. Yeşil renkli çizgi maksimum kar yüksekliğinin arazi profili ile değişimini sunmaktadır. Kırmızı renkli çizgi ise arazi yüksekliğine maksimum çığ yüksekliğinin ekleyerek belirlenen hat boyunca göstermektedir. Şekil 90'da ise gri alan Şekil 87'de gösterilen hat boyunca maksimum hızın değişimi sunmaktadır. Maksimum hız belirlenen hat boyunca 17 m/s ile 28 m/s arasında değişmektedir. Yeşil renkli çizgi yüksekliği işaret ederken, kırmızı renkli çizgi yükseklik ile maksimum hızı birleştirerek vermektedir. Şekil 91'de gri alan maksimum çığ basıncının profil hattı boyunca değişimini işaret etmektedir. Maksimum basınç en fazla hattın solunda 240 kPa iken, en düşük orta bölümde 90 kPa olarak hesaplanmıştır. Şekil 91'de yeşil çizgi ise arazi yüksekliğini göstermektedir.

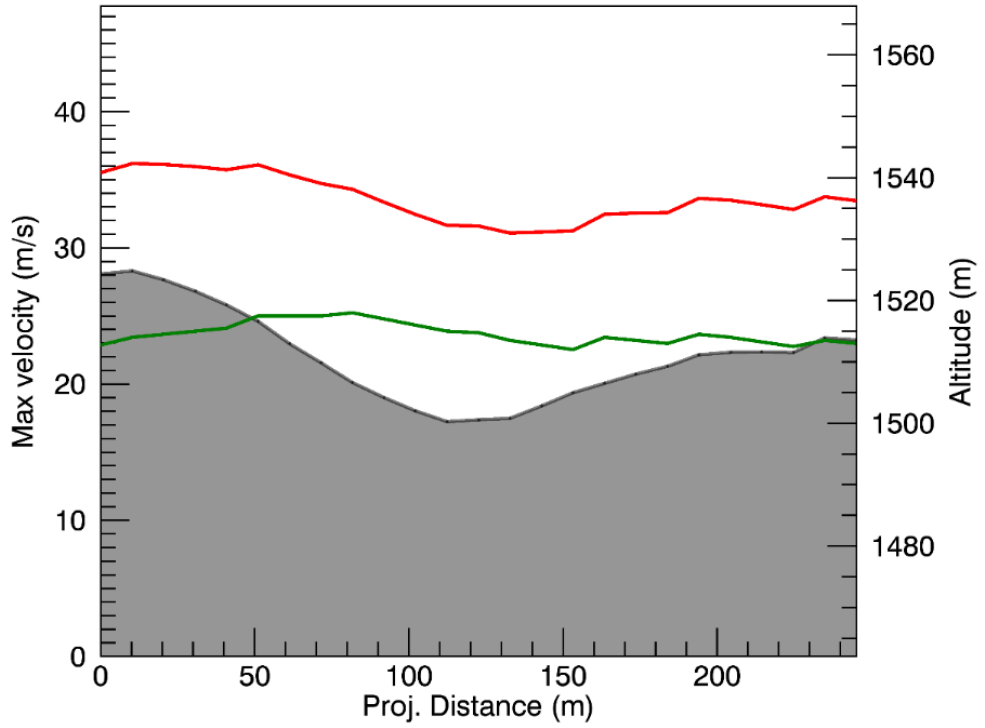
RAMMS yazılımında istenilen noktanın kar yüksekliği verisini elde etmek de mümkündür. Şekil 88'de gösterilen nokta bu amaçla seçilmiştir. Şekil 92'de 2 No.lu patika için maksimum kar yüksekliğinin zamanla değişimi bu nokta için verilmiştir. Grafiğe göre sorgulanan noktaya çığ 37. saniyede ulaşmış, çığ akış yüksekliği ilerleyen zaman içerisinde dalgalanmış ve nihai olarak 1.7 m civarında sonlanmıştır. Bu noktadaki maksimum çığ basıncı 82 kPa, maksimum çığ hızı 16.5 m/s olarak hesaplanmıştır.



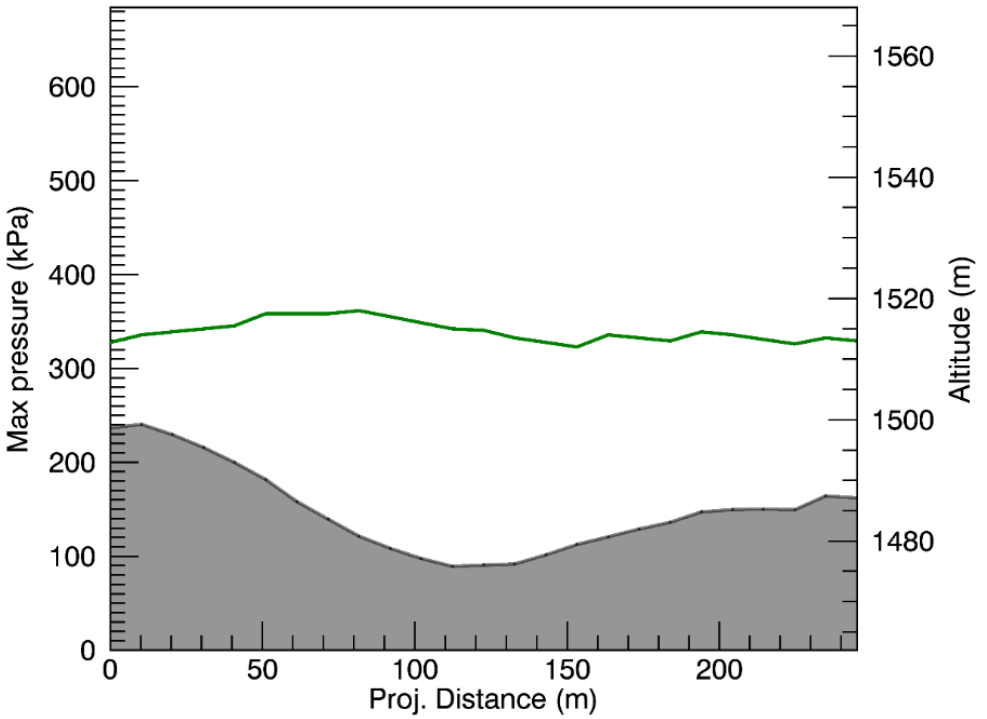
Şekil 88. 2 No.lu çığ patikası üzerinde çizgi profili ve nokta yerleşimi



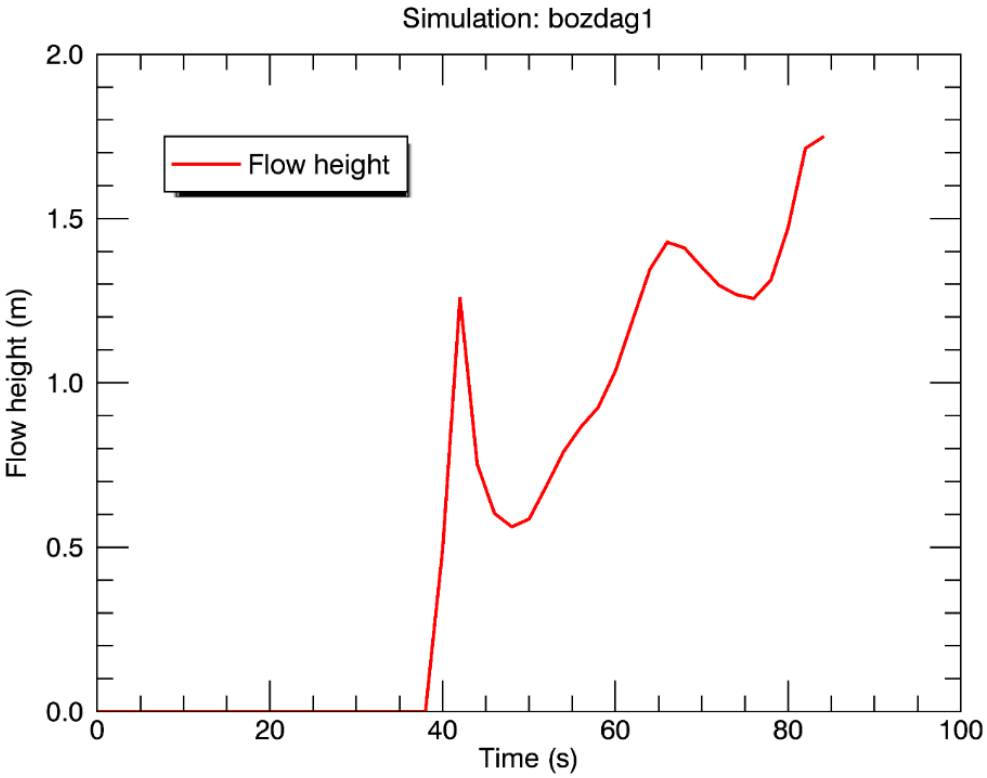
Şekil 89. 2 No.lu patika için maksimum kar yüksekliği arazi profili ile değişimi



Şekil 90. 2 No.lu patika için maksimum çığ hızının arazi profili ile değişimi



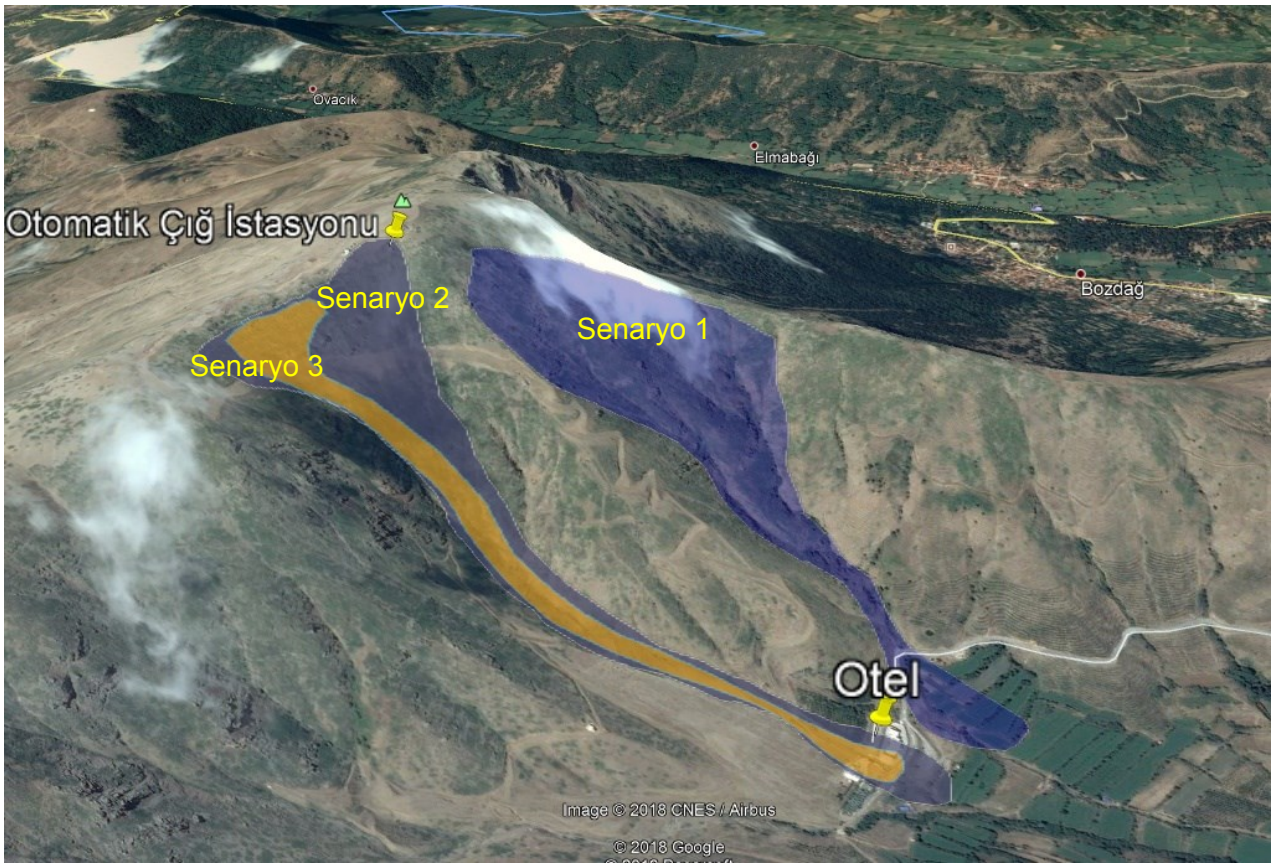
Şekil 91. 2 No.lu patika için maksimum çığ basıncının arazi profili ile değişimi



Şekil 92. 2 No.lu patika için maksimum kar yüksekliğinin zamanla değişimi

4.2 Çığ Simülasyon Senaryoları

Proje alanı olarak seçilen Bozdağ'ın kuzey yamacında iki çığ patikası üzerinde çığ akımını etkileyen parametreler ile farklı senaryolar kurgulanmış ve sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Bu senaryoların hangi patikalar üzerinde çalışıldığı harita üzerinde gösterilmiştir. Senaryolar belirlenirken bölgede daha önce çığ düşmüş patikalar dikkate alınmıştır. Önceki çığlardan; Senaryo 2 patikası üzerinde oluşan çığın otel binasının bir kısmını, Senaryo 1 patikası üzerinde oluşan çığın ise otel binasına erişimi sağlayan yolu etkilediği bilinmektedir.



Şekil 93 Bozdağ Kuzey Yamacında Çalışılan Çığ Patikaları

4.2.1 RAMMS - Senaryo Sonuçları

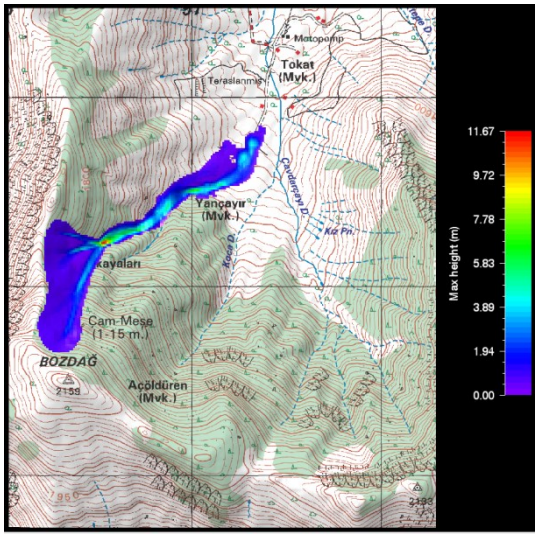
Senaryo 1 değişken parametreleri; kar kopma derinliği ve çığ yineleme periyodu olarak alınmıştır. RAMMS programı içerisinde kar kopma derinlikleri sırasıyla 0.50m, 0.75m, 1.00m, 1.25m ve 1.50m olarak, yineleme periyotları da 300, 100, 30 ve 10 yıl alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin kolay takip edilmesi açısından yineleme periyodu ve çığ kopma derinliği bilgilerini de içeren *Analiz Numaraları* verilerek Tablo 13 hazırlanmıştır. Tablo

13’te her bir analiz için bir numara verilmiş olup analizde kullanılan girdi parametreleri tabloda sağ tarafta belirtilmiştir.

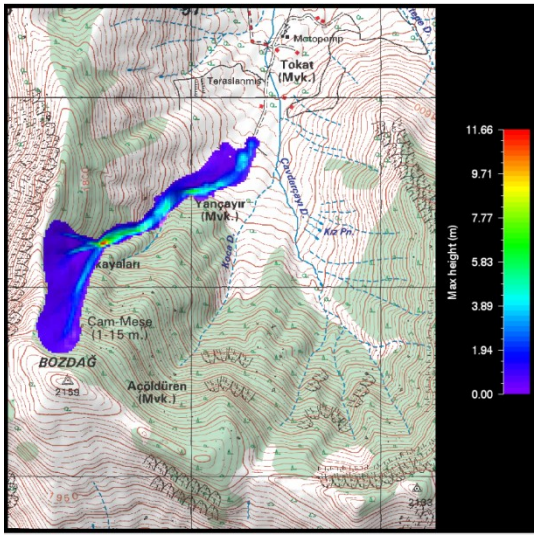
Senaryo 1 çığ patikasında RAMMS programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 94 - Şekil 103 arasında gösterilmiştir. Bu sonuçlarda maksimum çığ yükseklikleri, maksimum çığ hızları ve maksimum basınç değerleri gösterilmiştir.

Tablo 13. Senaryo 1'e ait analizlerde kullanılan girdi verileri

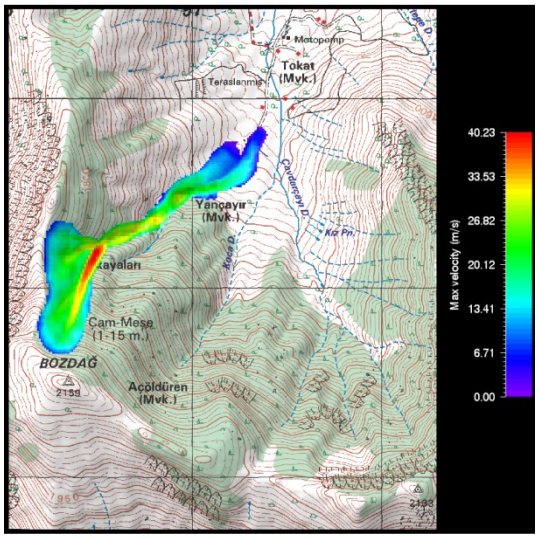
Senaryo 1		
Analiz Numarası	Yineleme Periyodu(Yıl)	Çığ Kopma Derinliği(cm)
S1-H50-Tr300	Tr=300	h=50
S1-H50-Tr100	Tr=100	
S1-H50-Tr30	Tr=30	
S1-H50-Tr10	Tr=10	
S1-H75-Tr300	Tr=300	h=75
S1-H75-Tr100	Tr=100	
S1-H75-Tr30	Tr=30	
S1-H75-Tr10	Tr=10	
S1-H100-Tr300	Tr=300	h=100
S1-H100-Tr100	Tr=100	
S1-H100-Tr30	Tr=30	
S1-H100-Tr10	Tr=10	
S1-H125-Tr300	Tr=300	h=125
S1-H125-Tr100	Tr=100	
S1-H125-Tr30	Tr=30	
S1-H125-Tr10	Tr=10	
S1-H150-Tr300	Tr=300	h=150
S1-H150-Tr100	Tr=100	
S1-H150-Tr30	Tr=30	
S1-H150-Tr10	Tr=10	



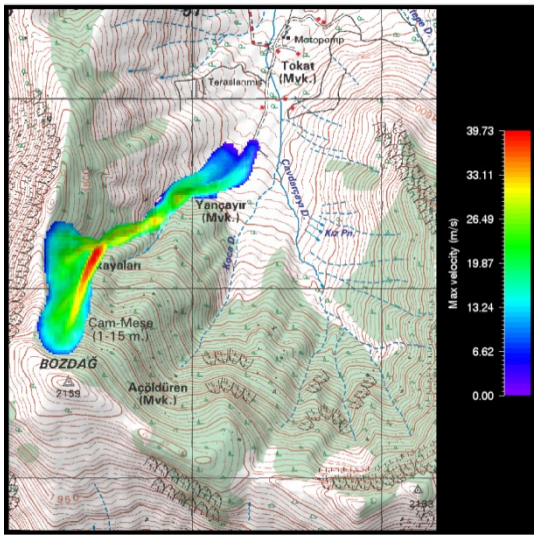
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=300)



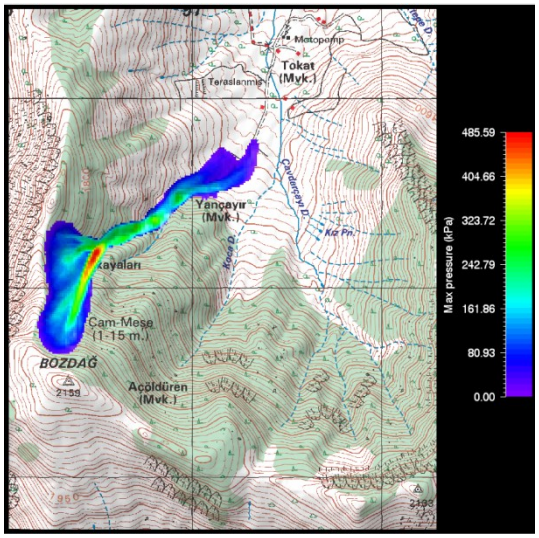
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=100)



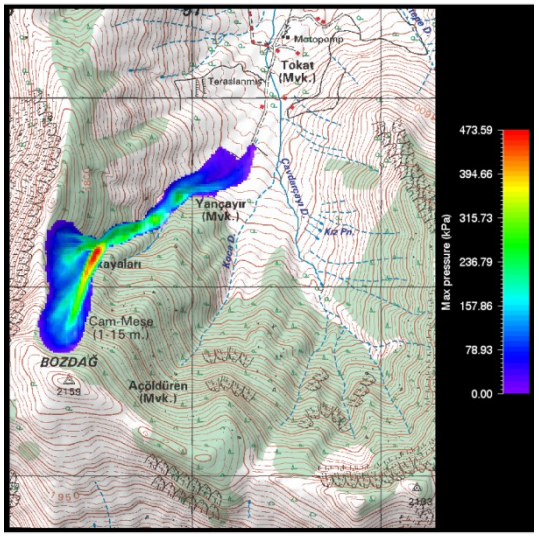
c. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=100)

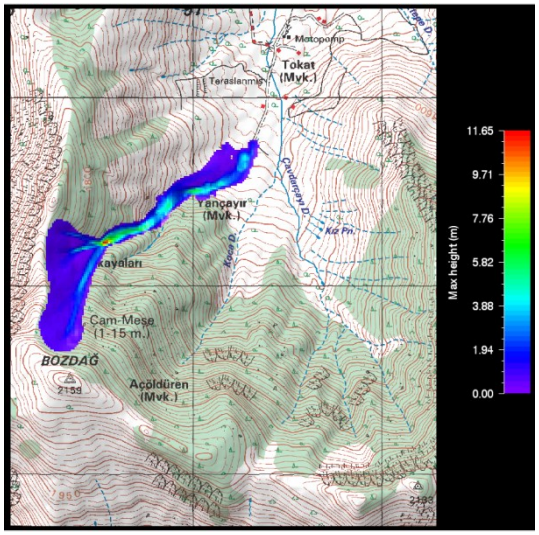


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=300)

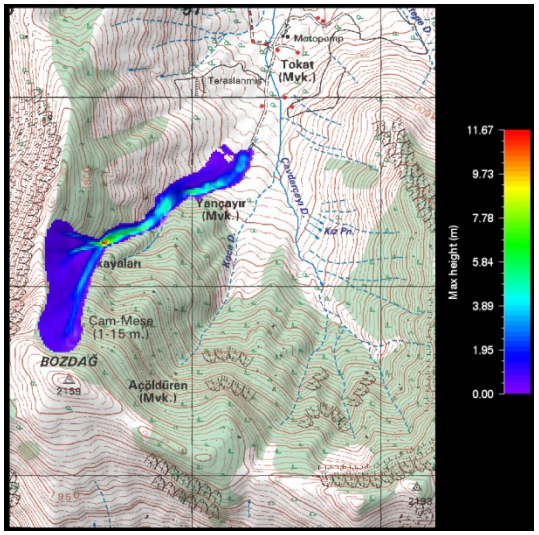


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=100)

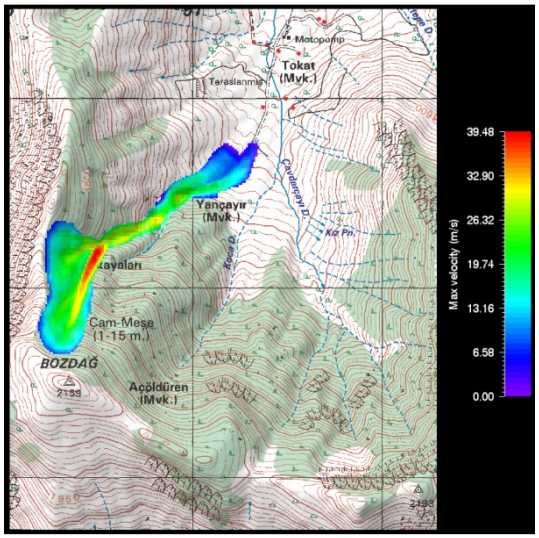
Şekil 94. S1-H50-Tr300 ve S1-H50-Tr100 Analiz Sonuçları



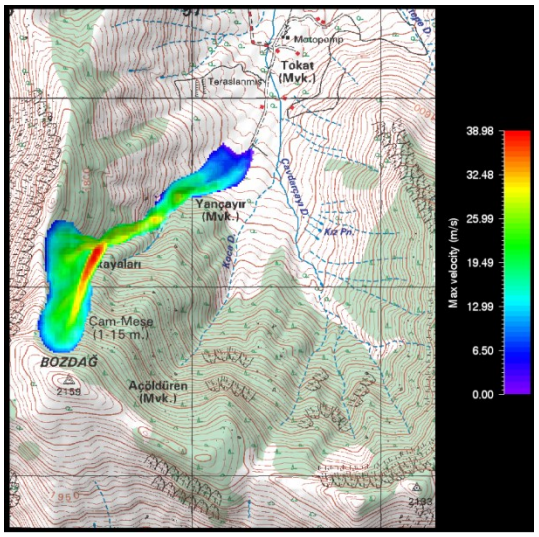
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=30)



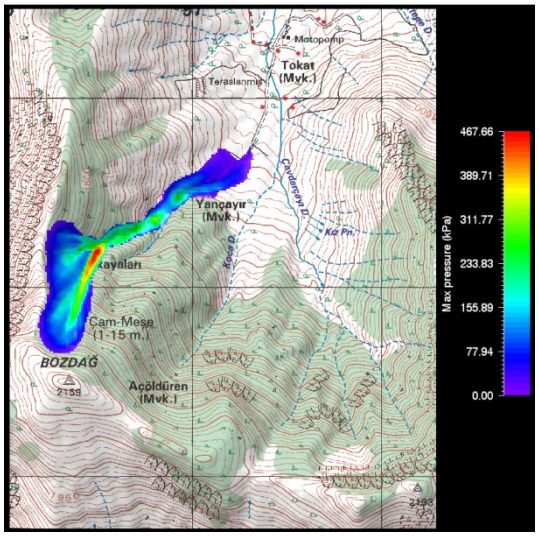
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=10)



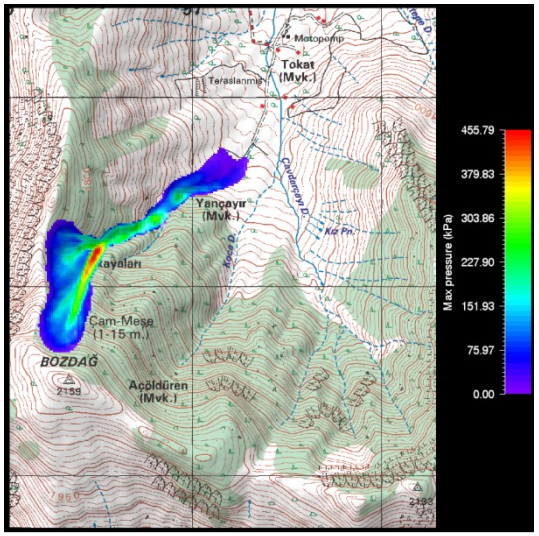
c. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=10)

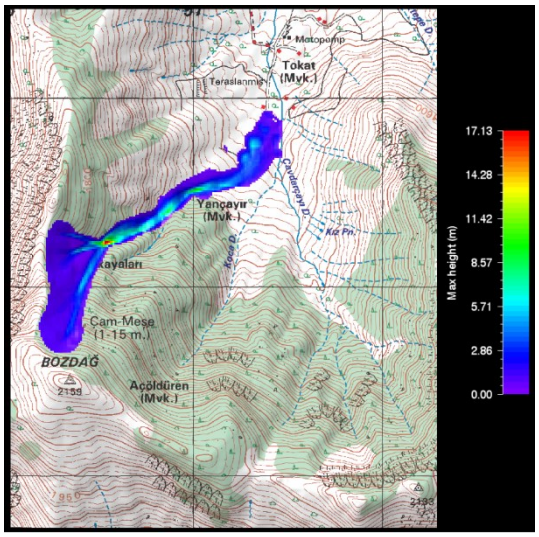


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=30)

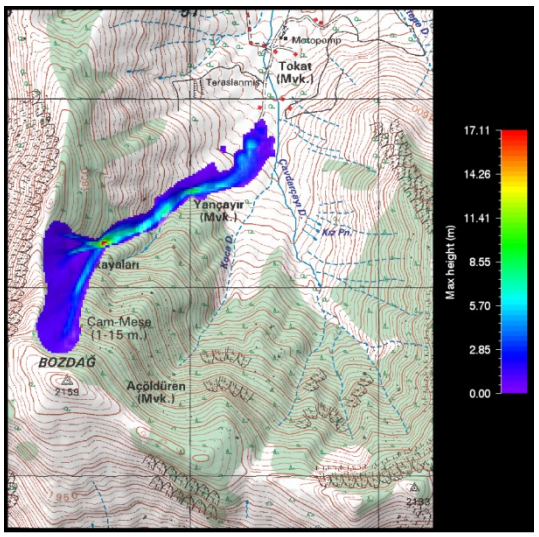


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=10)

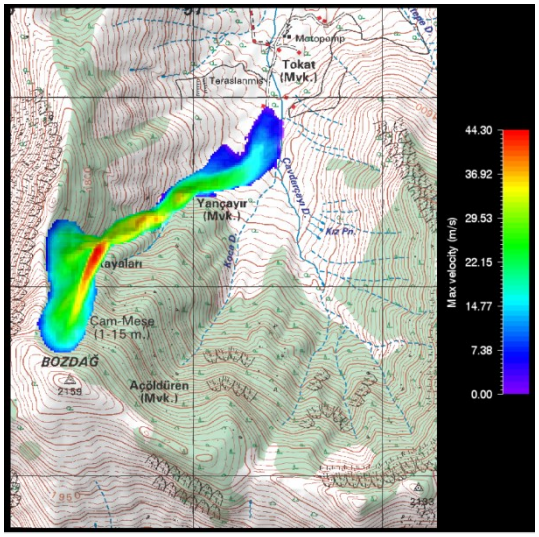
Şekil 95. S1-H50-Tr30 ve S1-H50-Tr10 Analiz Sonuçları



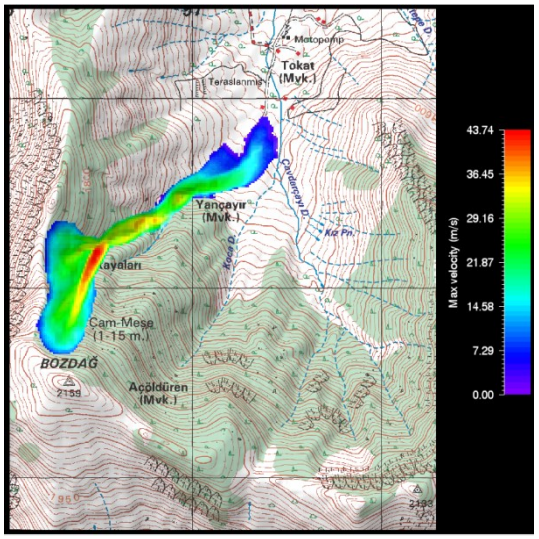
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=300)



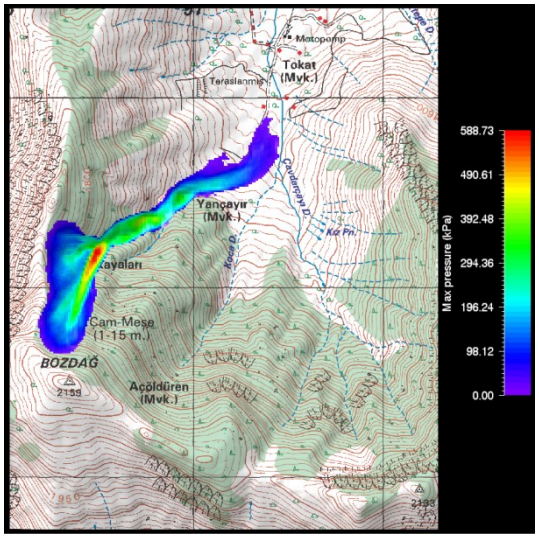
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=100)



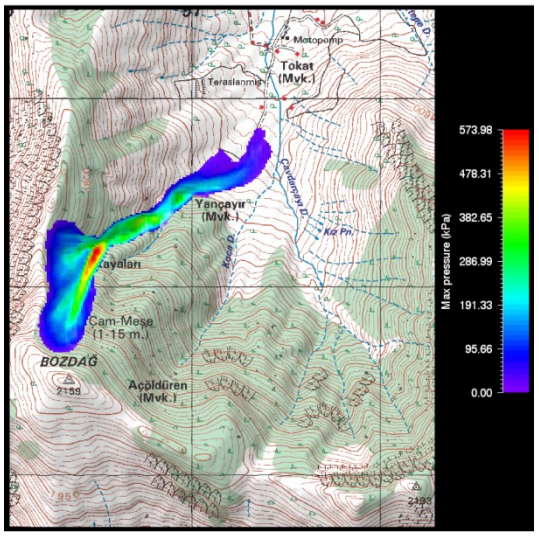
c. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=100)

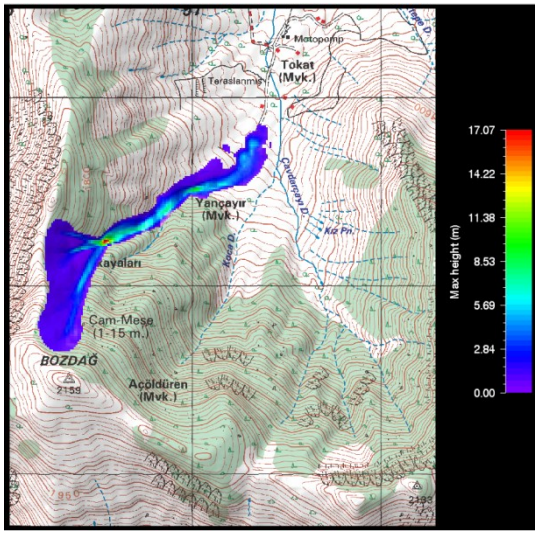


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=300)

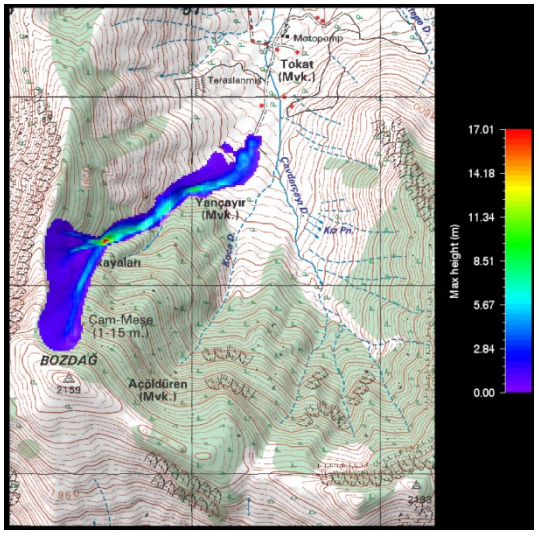


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=100)

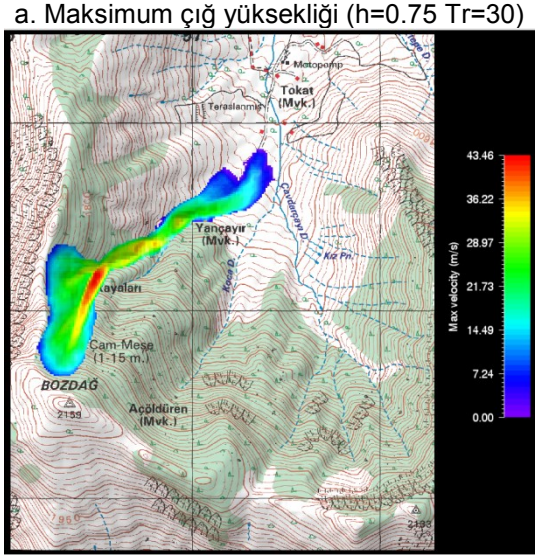
Şekil 96. S1-H75-Tr300 ve S1-H75-Tr100 Analiz Sonuçları



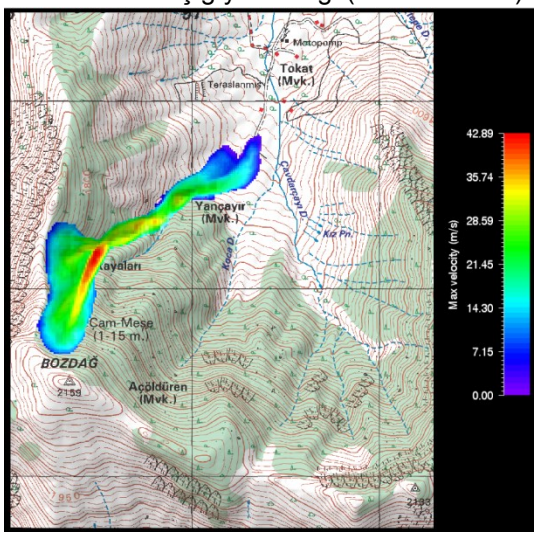
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=30)



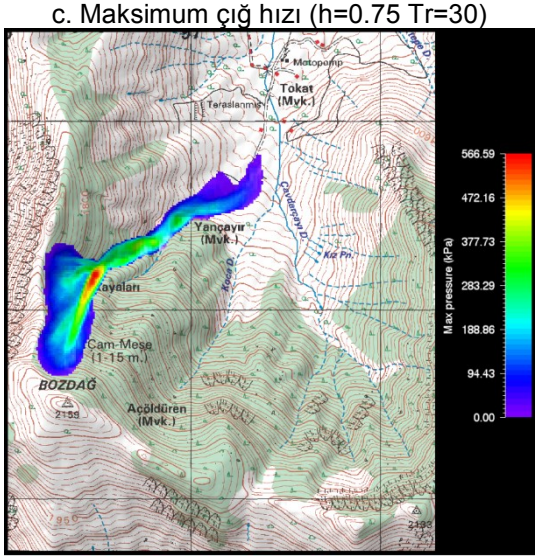
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=10)



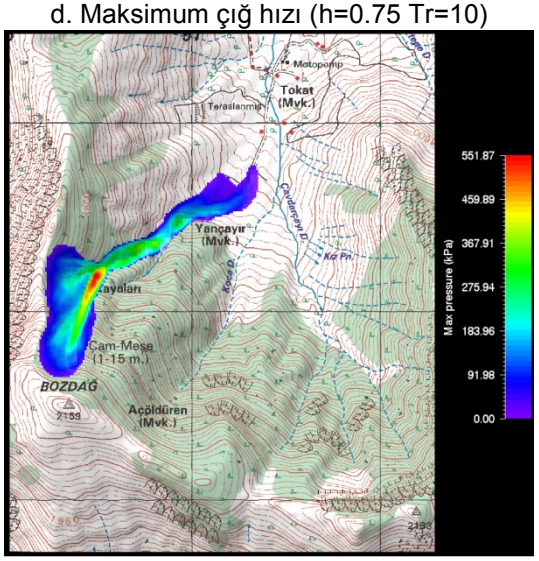
c. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=10)

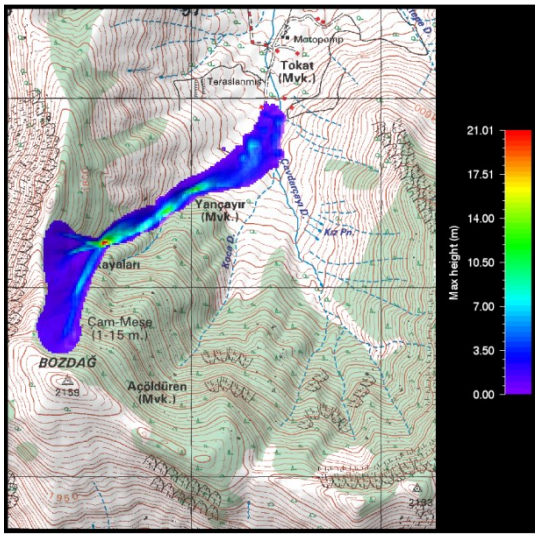


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=30)

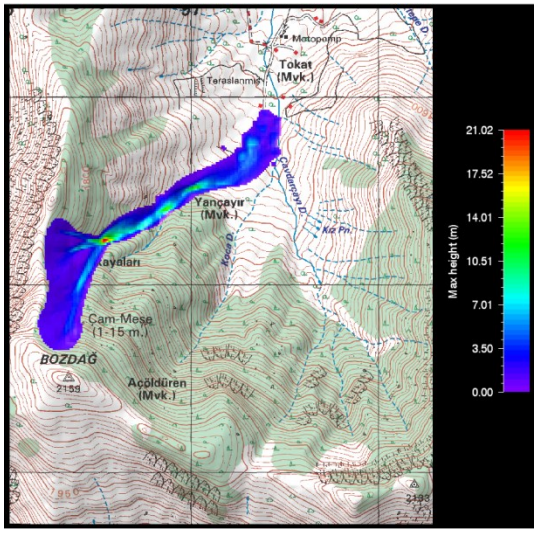


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=10)

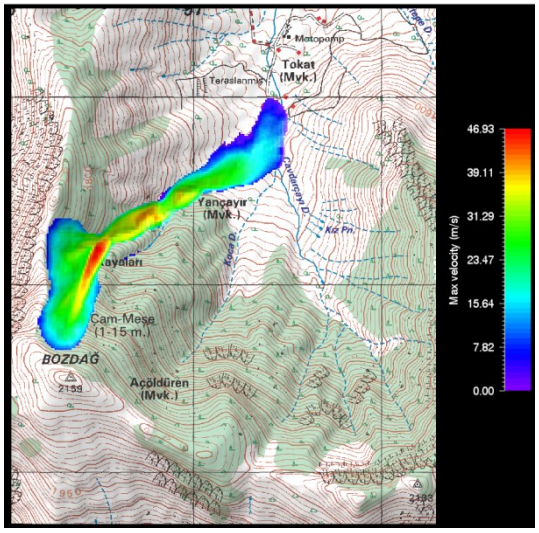
Şekil 97. S1-H75-Tr30 ve S1-H75-Tr10 Analiz Sonuçları



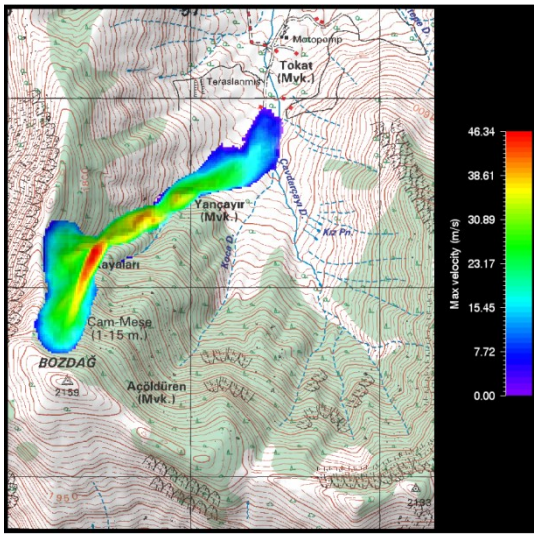
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=300)



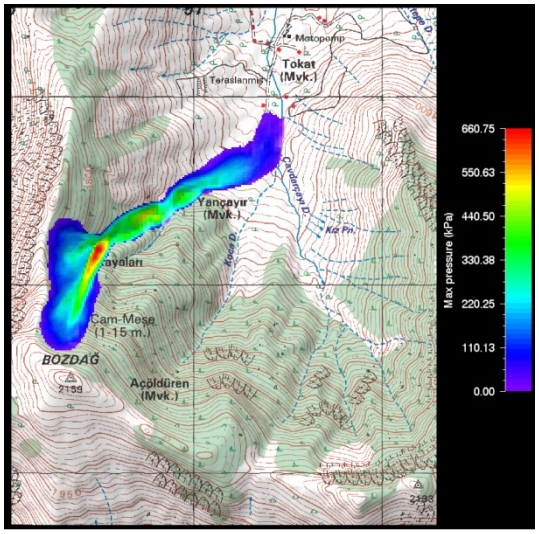
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=100)



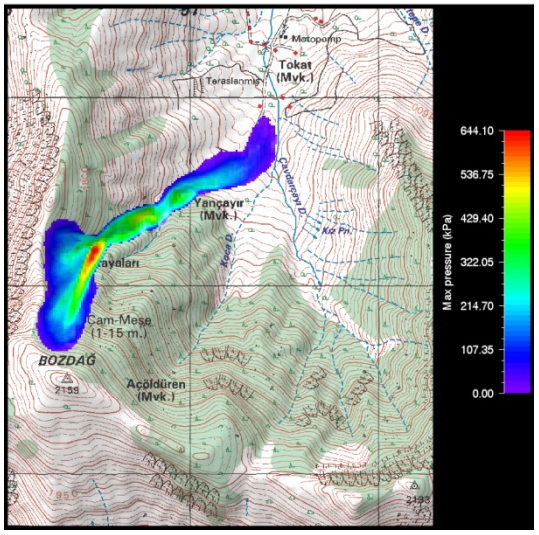
c. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=100)

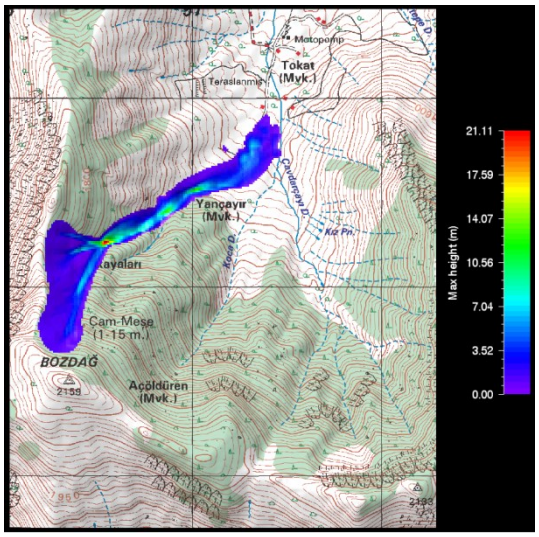


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=300)

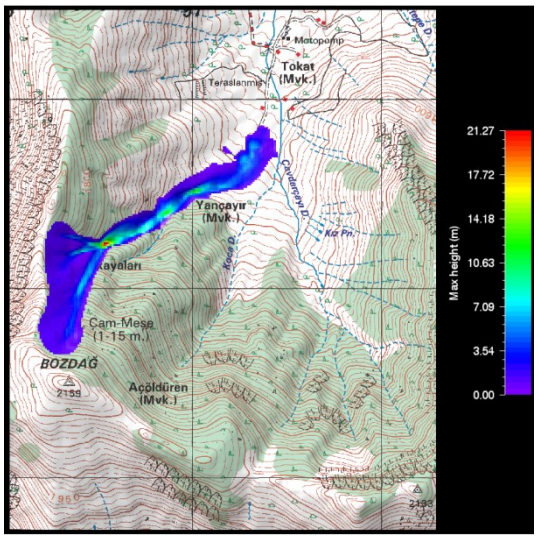


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=100)

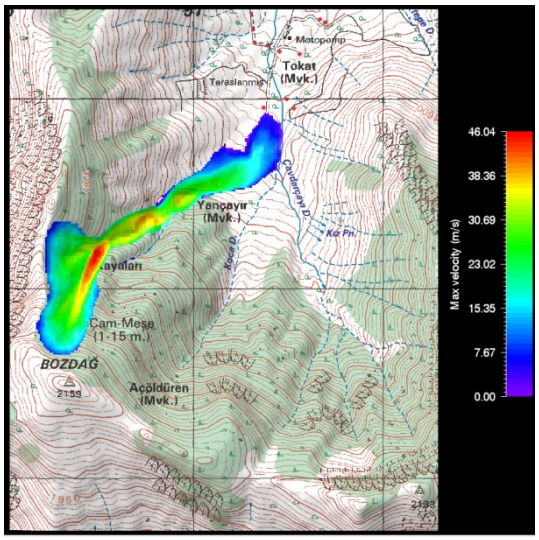
Şekil 98. S1-H100-Tr300 ve S1-H100-Tr100 Analiz Sonuçları



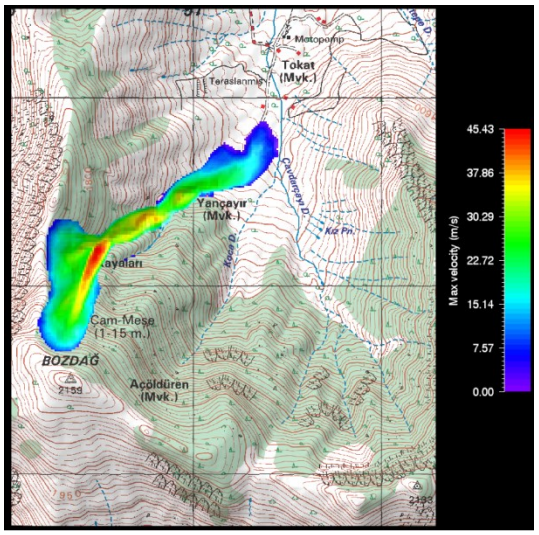
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.0 Tr=30)



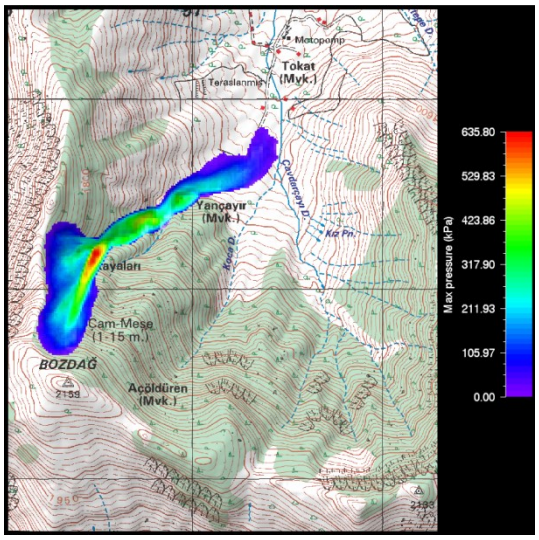
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.0 Tr=10)



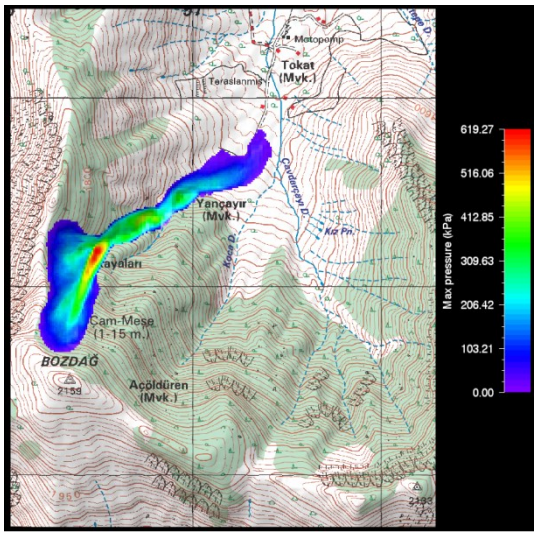
c. Maksimum çığ hızı (h=1.0 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.0 Tr=10)

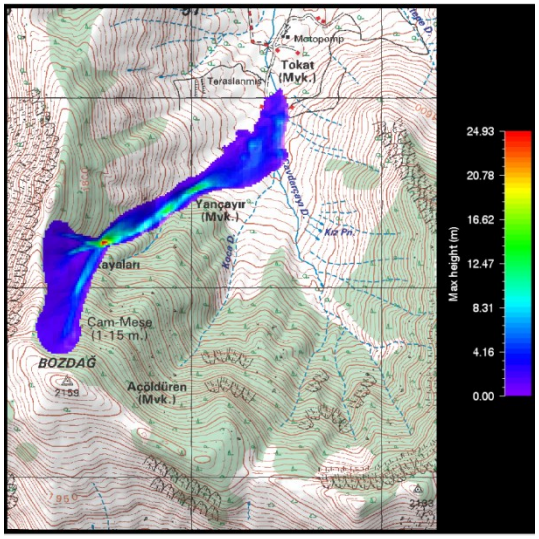


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.0 Tr=30)

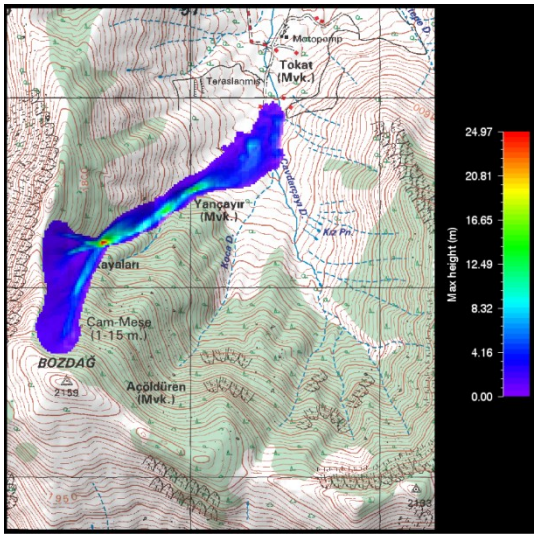


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.0 Tr=10)

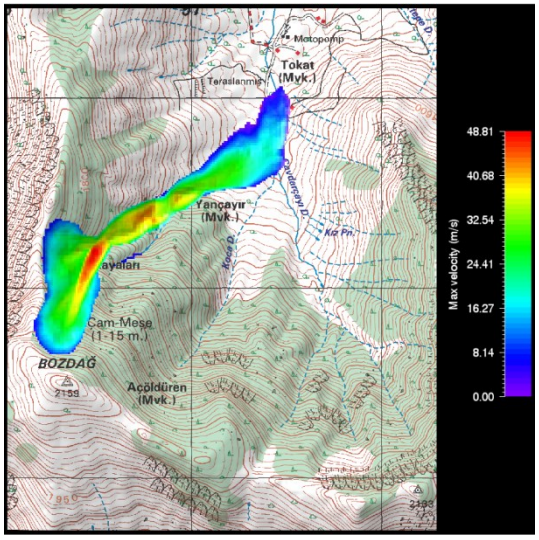
Şekil 99. S1-H100-Tr30 ve S1-H100-Tr10 Analiz Sonuçları



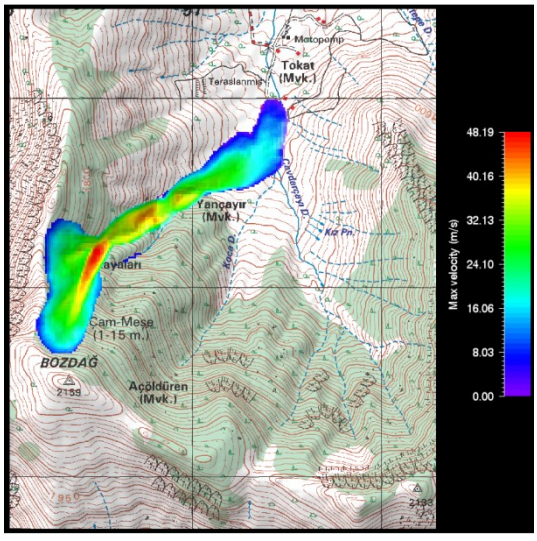
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=300)



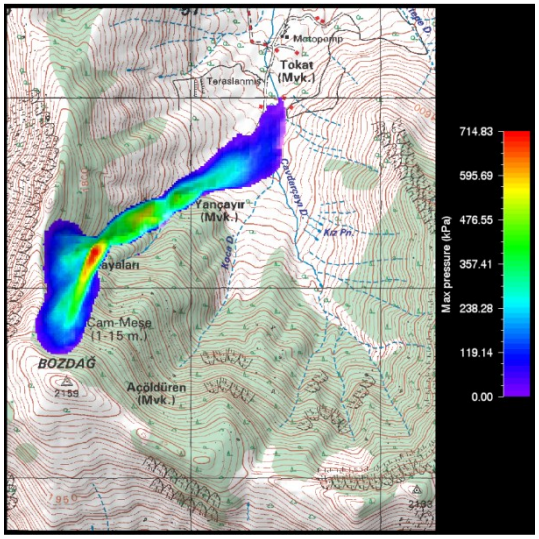
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=100)



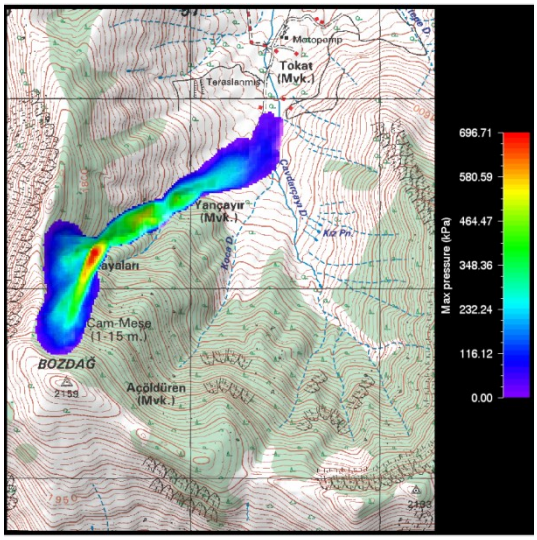
c. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=100)

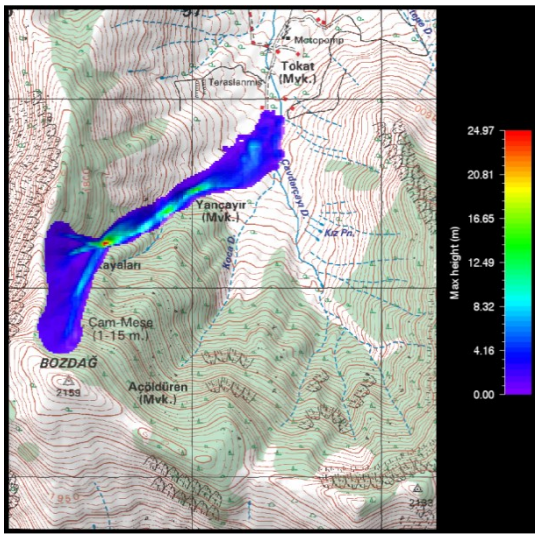


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=300)

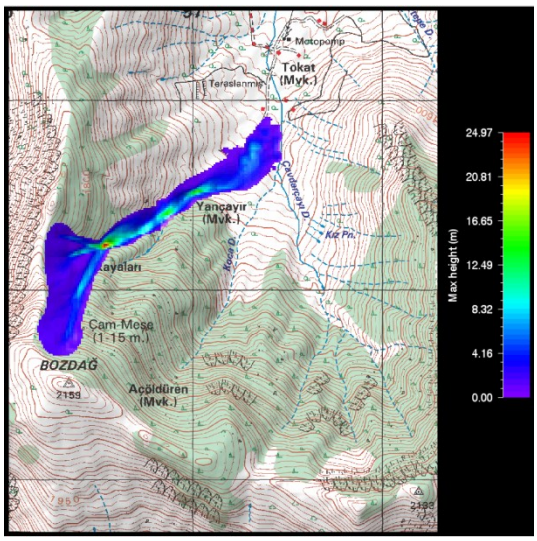


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=100)

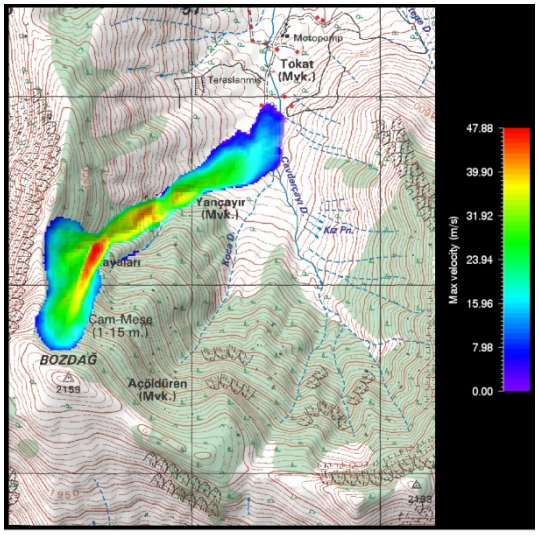
Şekil 100. S1-H125-Tr300 ve S1-H125-Tr100 Analiz Sonuçları



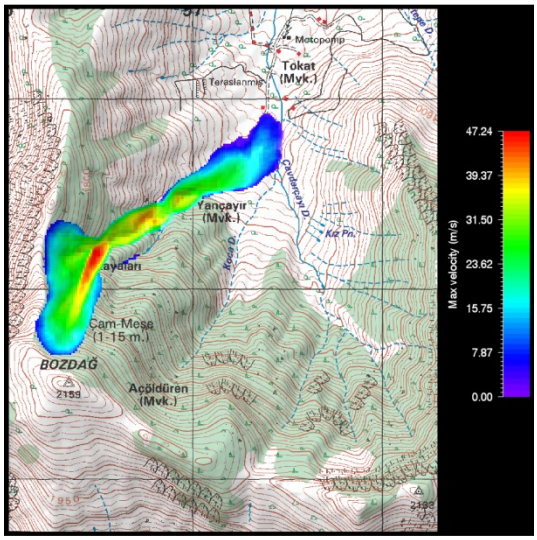
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=30)



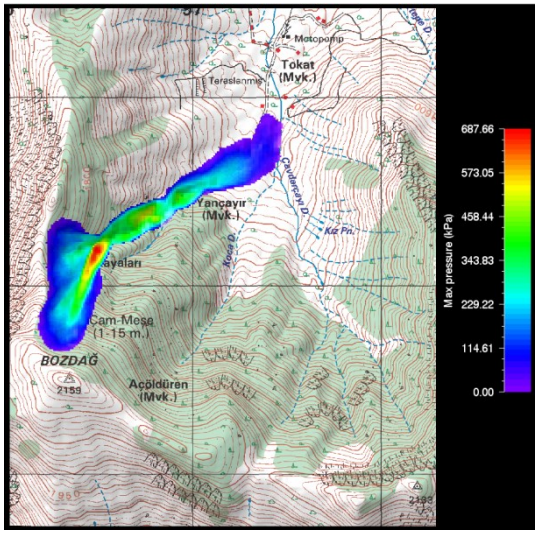
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=10)



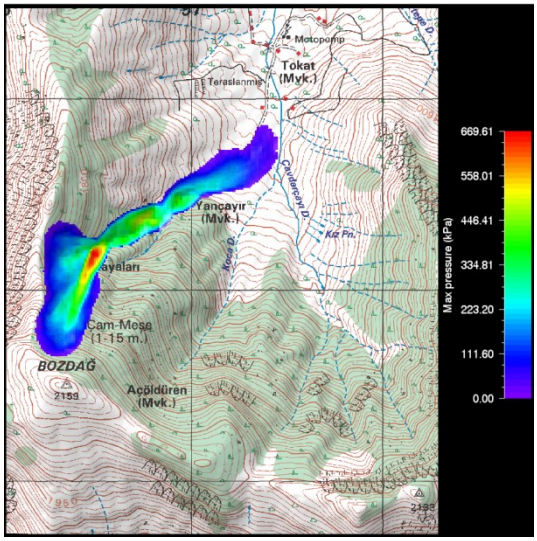
c. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=10)

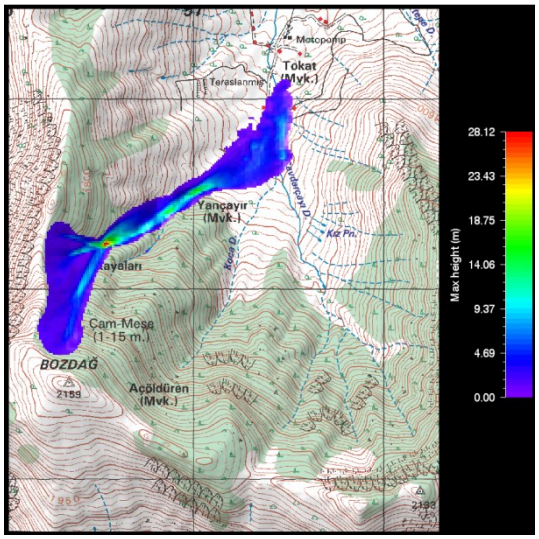


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=30)

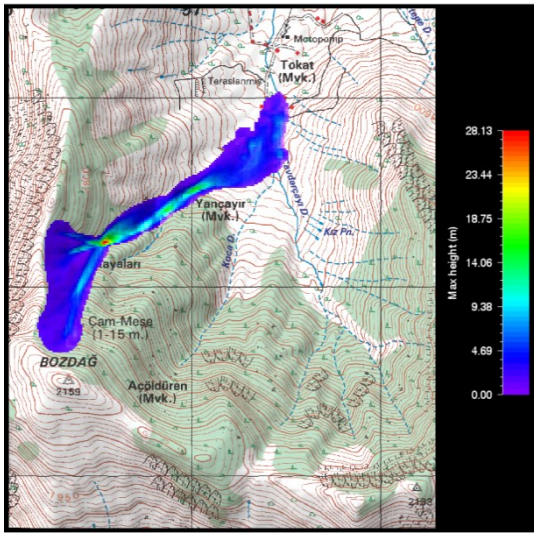


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=10)

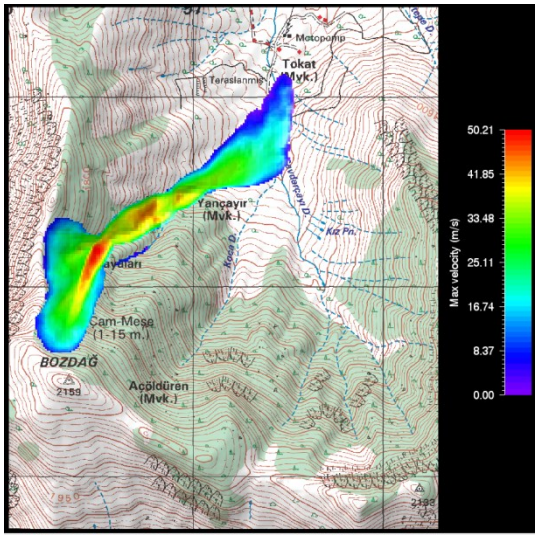
Şekil 101. S1-H125-Tr30 ve S1-H125-Tr10 Analiz Sonuçları



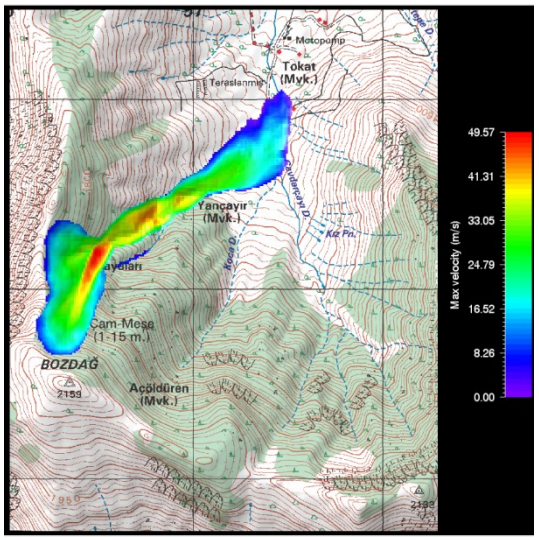
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=300)



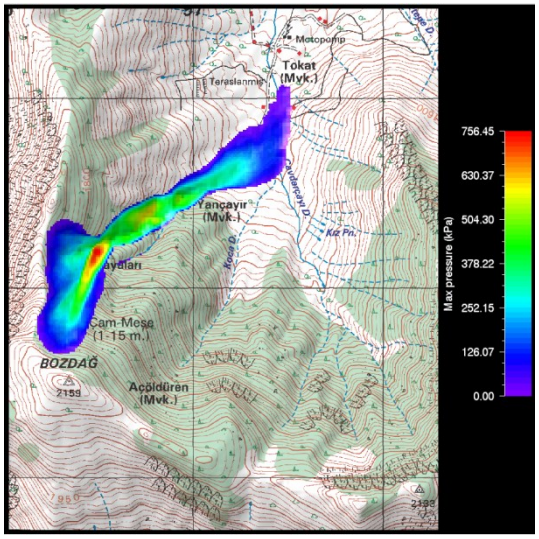
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=100)



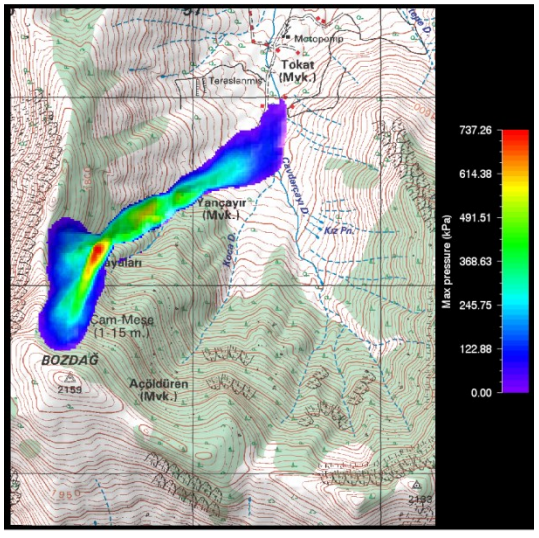
c. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=100)

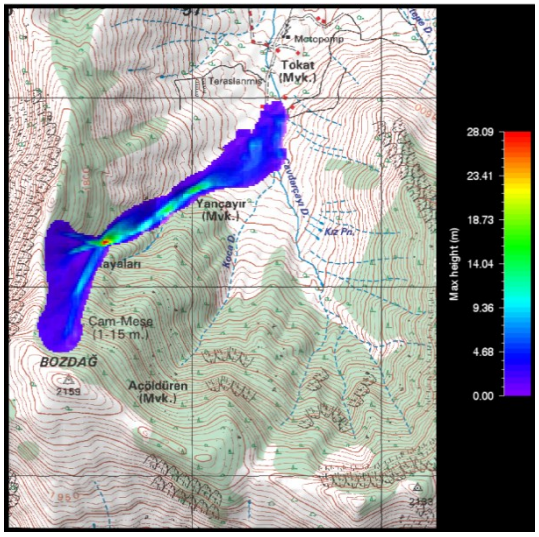


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=300)

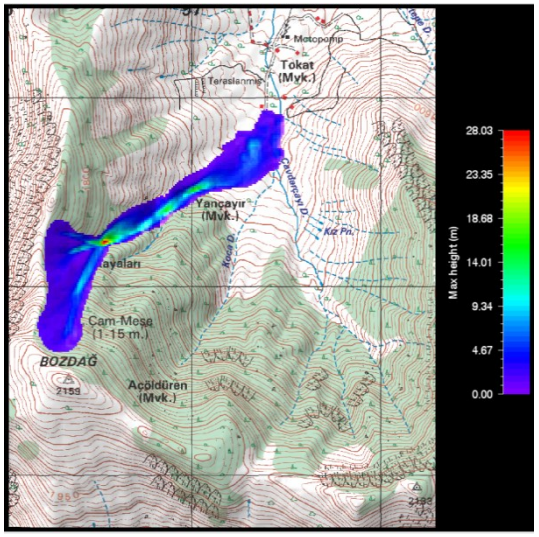


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=100)

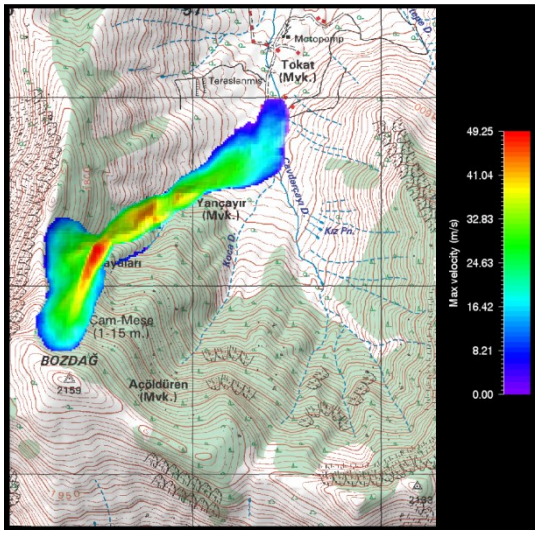
Şekil 102. S1-H150-Tr300 ve S1-H150-Tr100 Analiz Sonuçları



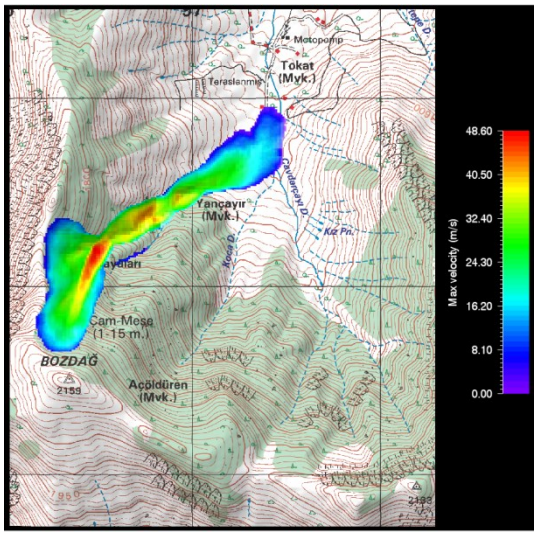
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=30)



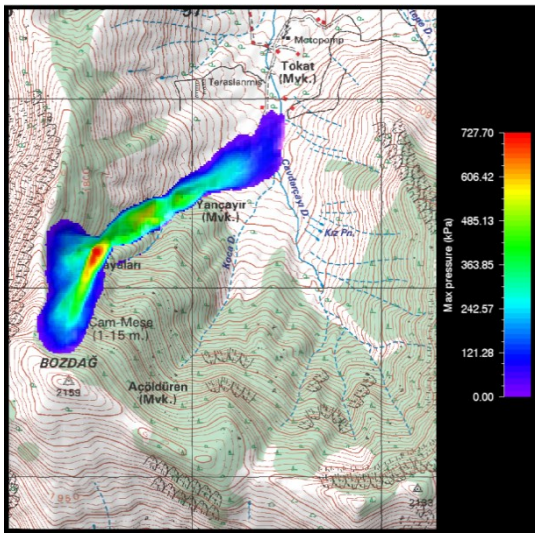
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=10)



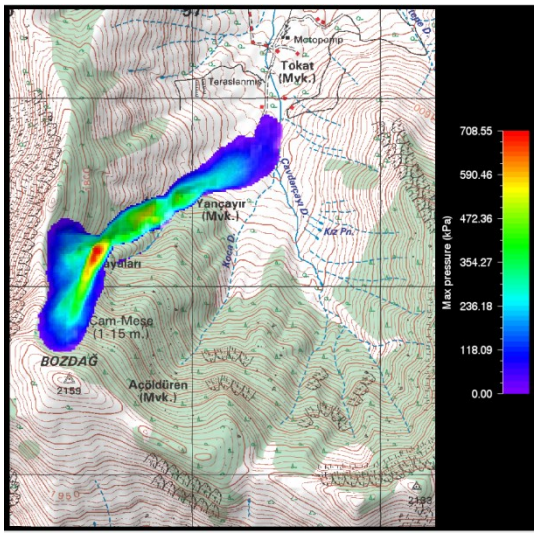
c. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=10)



e. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=30)



f. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=10)

Şekil 103. S1-H150-Tr30 ve S1-H150-Tr10 Analiz Sonuçları

Senaryo 1' de yapılan tüm analizlere ait sonuçlar bir özet şeklinde Tablo 14'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde RAMMS programında Senaryo 1'de farklı periyotlara göre elde edilen maksimum çığ hızı, yüksekliği ve basınç sonuçları görülebilmektedir.

Tablo 14 Senaryo 1 Sonuçları Özet Tablosu

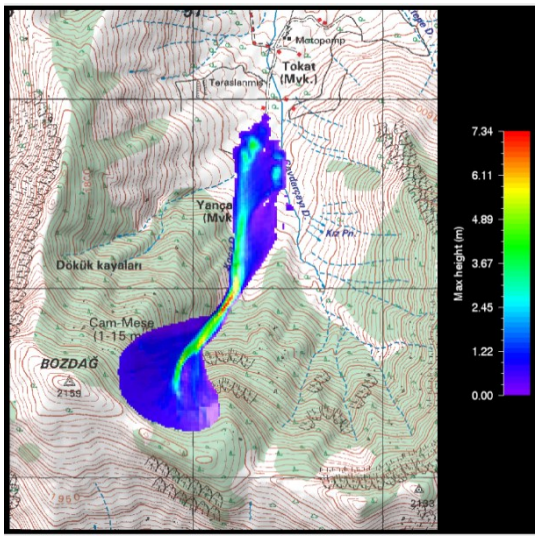
Senaryo 1 için Yineleme Periyoduna Göre Maksimum Çığ Parametreleri Değişimi					
Analiz Numarası	**Kopma Derinliği (m)**	**Yineleme Periyodu (Tr)**	**Maksimum çığ yüksekliği (m)**	**Maksimum çığ hızı (m/s)**	**Maksimum çığ basıncı (kPa)**
S1-H50-Tr300	0.5	300	11.67	40.23	485.59
S1-H50-Tr100		100	11.66	39.73	473.59
S1-H50-Tr30		30	11.65	39.48	467.66
S1-H50-Tr10		10	11.67	38.98	455.79
S1-H75-Tr300	0.75	300	17.13	44.30	588.73
S1-H75-Tr100		100	17.11	43.74	573.98
S1-H75-Tr30		30	17.07	43.46	566.59
S1-H75-Tr10		10	17.01	42.89	551.87
S1-H100-Tr300	1.00	300	21.01	46.93	660.75
S1-H100-Tr100		100	21.02	46.34	644.10
S1-H100-Tr30		30	21.11	46.04	635.80
S1-H100-Tr10		10	21.27	45.43	619.27
S1-H125-Tr300	1.25	300	24.93	48.81	714.83
S1-H125-Tr100		100	24.97	48.19	696.71
S1-H125-Tr30		30	24.97	47.88	687.66
S1-H125-Tr10		10	24.97	47.24	669.61
S1-H150-Tr300	1.50	300	28.12	50.21	756.45
S1-H150-Tr100		100	28.13	49.57	737.26
S1-H150-Tr30		30	28.09	49.25	727.70
S1-H150-Tr10		10	28.03	48.60	708.55

Senaryo 2'de Senaryo 1'de olduğu gibi aynı değişkenler kullanılmıştır. Bunlar; kar kopma derinliği ve çığ yineleme periyotlarıdır. Senaryo 2 için kullanılan bu parametreler Tablo 15'te özetlenmiştir.

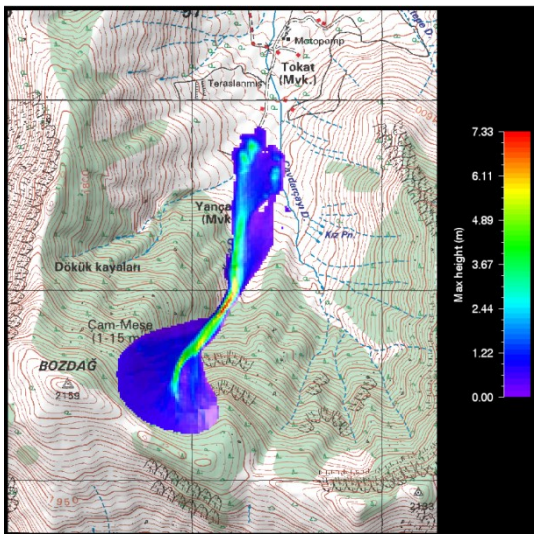
Senaryo 2 çığ patikasında RAMMS programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 104- Şekil 113 arasında gösterilmiştir. Bu sonuçlarda maksimum çığ yükseklikleri, maksimum çığ hızları ve maksimum basınç değerleri verilmektedir.

Tablo 15. Senaryo 2'ye ait analizlerde kullanılan girdi verileri

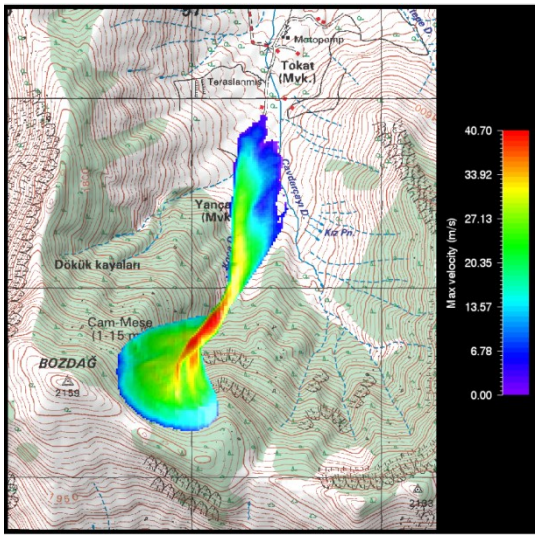
Senaryo 2		
Analiz Numarası	Yineleme Periyodu(Yıl)	Çığ Kopma Derinliği(cm)
S2-H50-Tr300	Tr=300	h=50
S2-H50-Tr100	Tr=100	
S2-H50-Tr30	Tr=30	
S2-H50-Tr10	Tr=10	
S2-H75-Tr300	Tr=300	h=75
S2-H75-Tr100	Tr=100	
S2-H75-Tr30	Tr=30	
S2-H75-Tr10	Tr=10	
S2-H100-Tr300	Tr=300	h=100
S2-H100-Tr100	Tr=100	
S2-H100-Tr30	Tr=30	
S2-H100-Tr10	Tr=10	
S2-H125-Tr300	Tr=300	h=125
S2-H125-Tr100	Tr=100	
S2-H125-Tr30	Tr=30	
S2-H125-Tr10	Tr=10	
S2-H150-Tr300	Tr=300	h=150
S2-H150-Tr100	Tr=100	
S2-H150-Tr30	Tr=30	
S2-H150-Tr10	Tr=10	



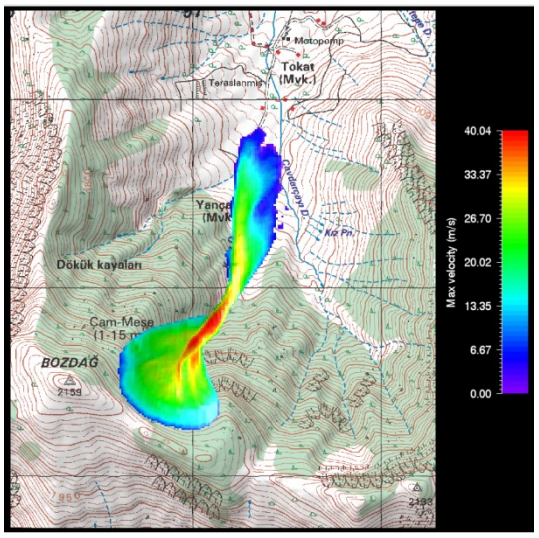
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=300)



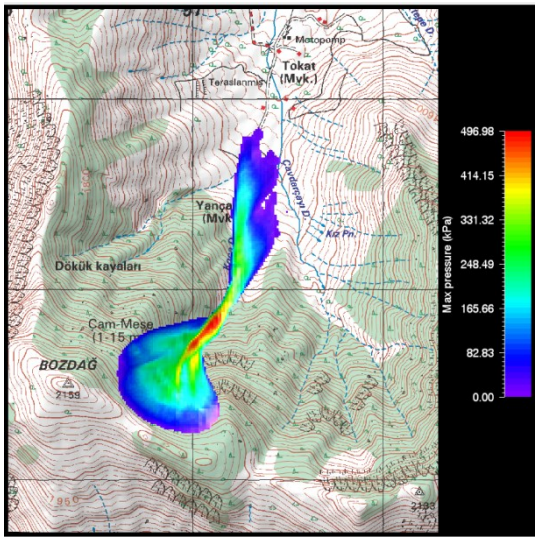
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=100)



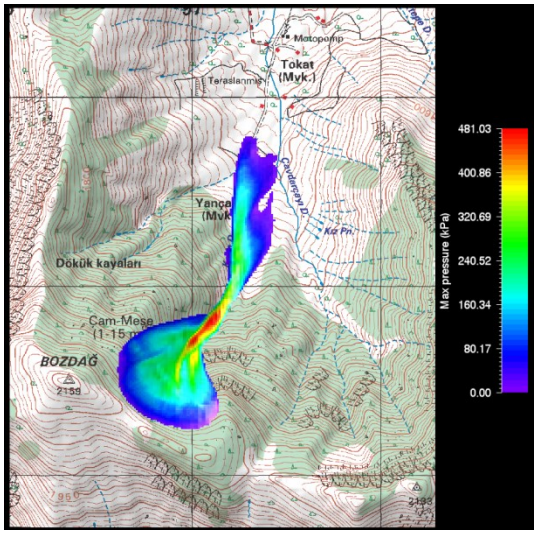
c. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=100)

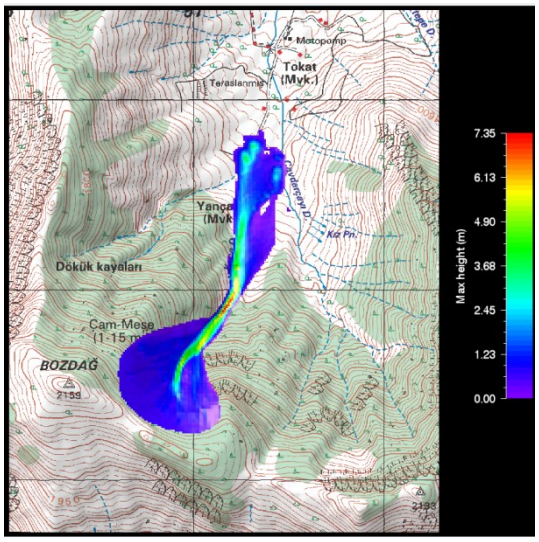


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=300)

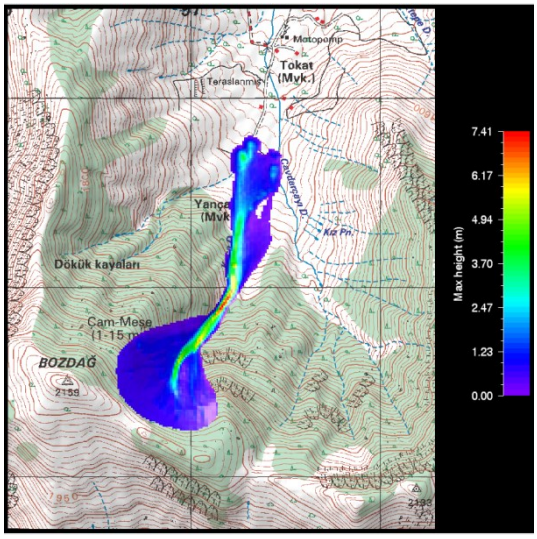


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=100)

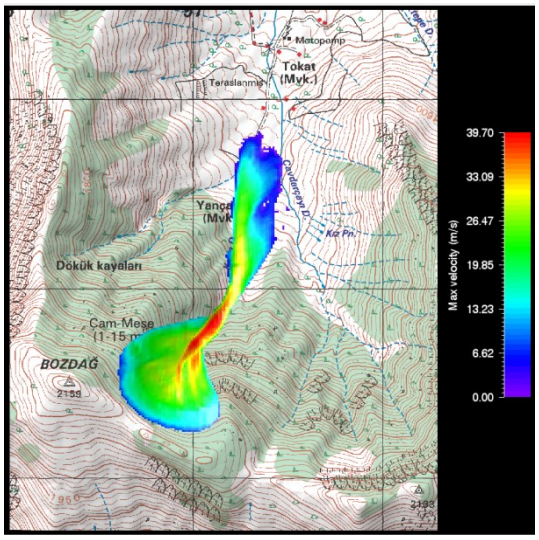
Şekil 104. S2-H50-Tr300 ve S2-H50-Tr100 Analiz Sonuçları



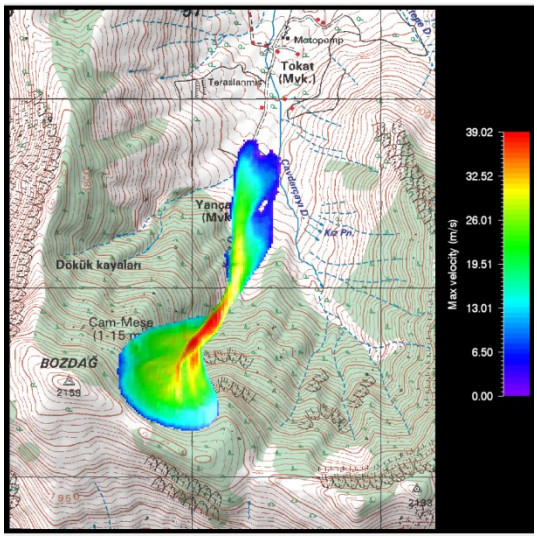
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=30)



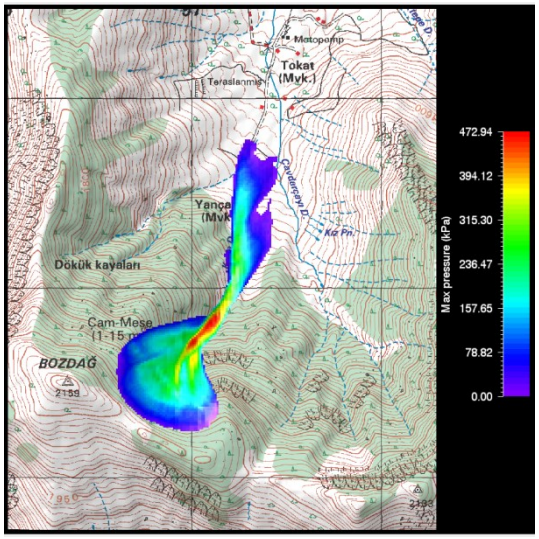
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=10)



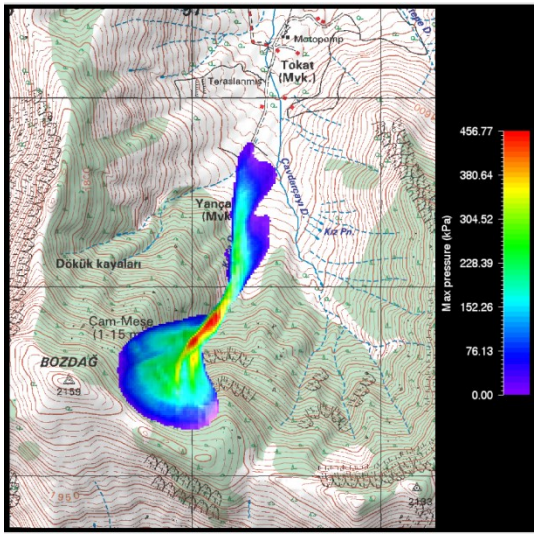
c. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=10)

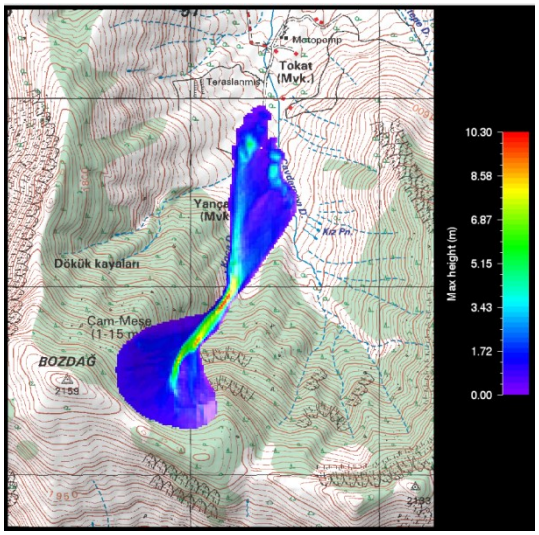


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=30)

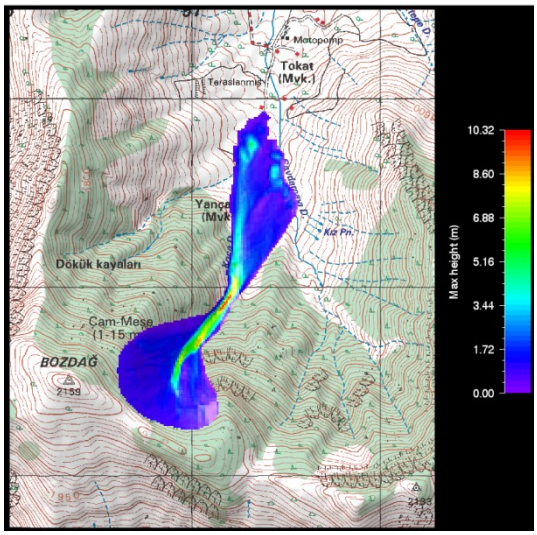


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=10)

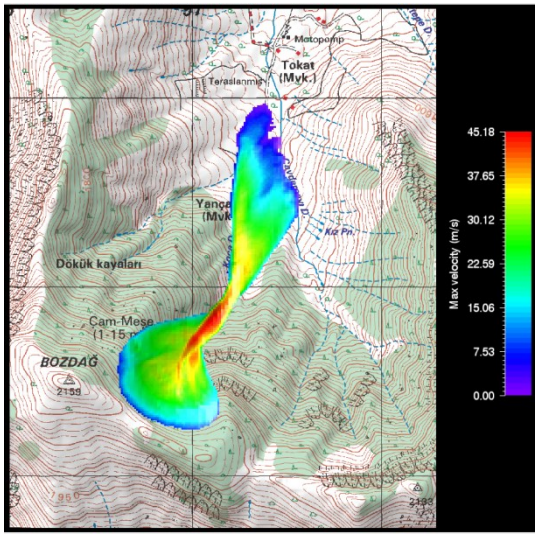
Şekil 105. S2-H50-Tr30 ve S2-H50-Tr10 Analiz Sonuçları



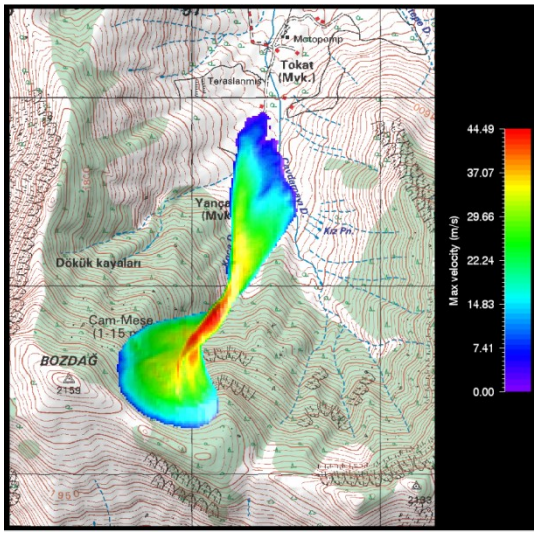
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=300)



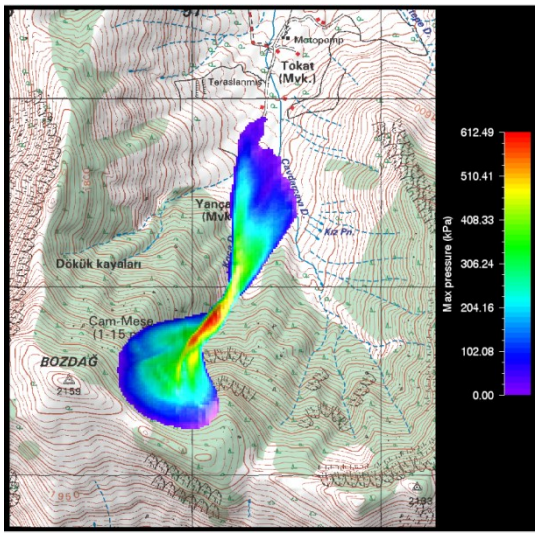
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=100)



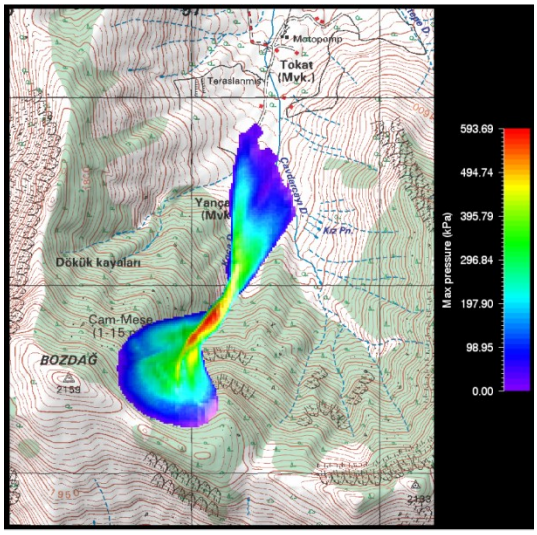
c. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=100)

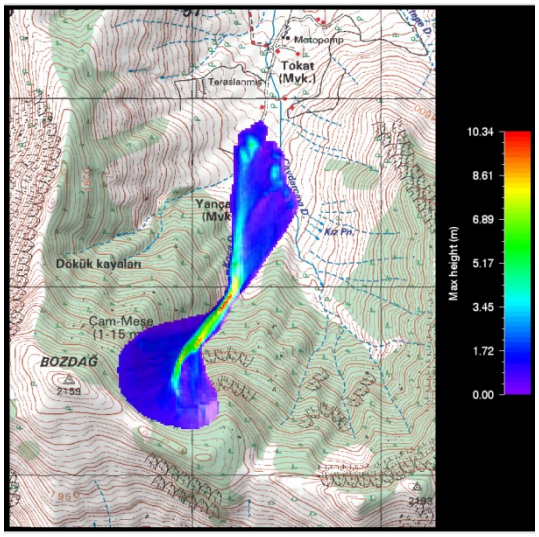


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=300)

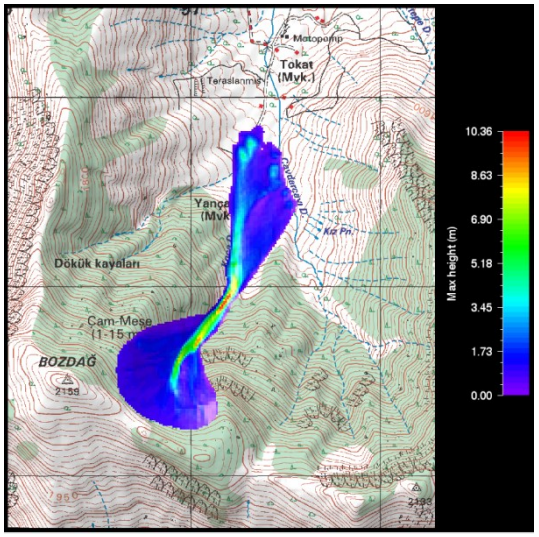


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=100)

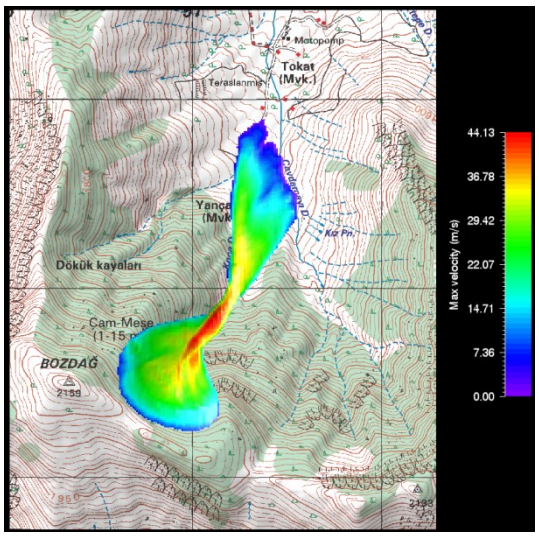
Şekil 106. S2-H75-Tr300 ve S2-H75-Tr100 Analiz Sonuçları



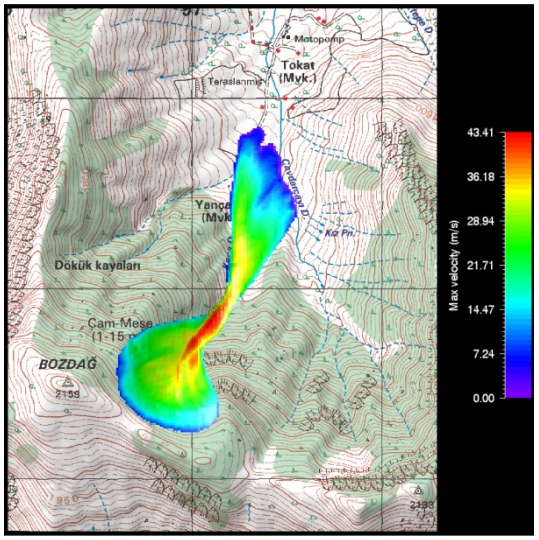
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=30)



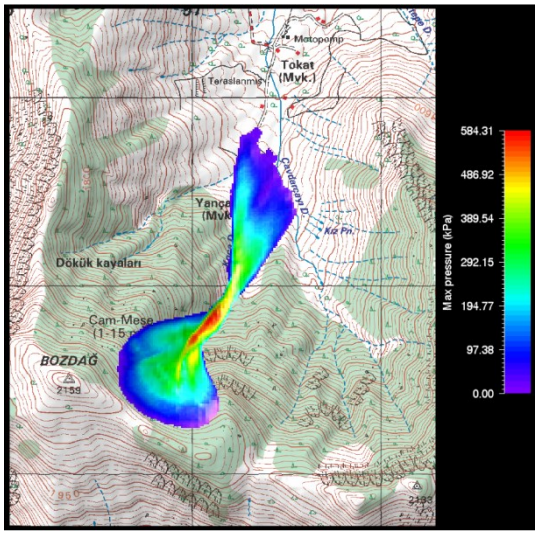
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=10)



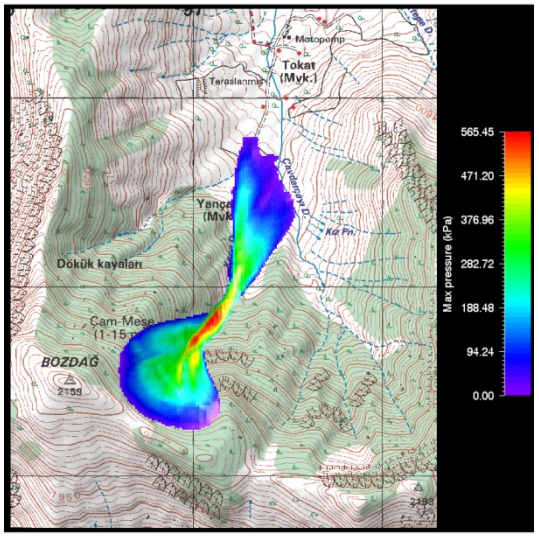
c. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=10)

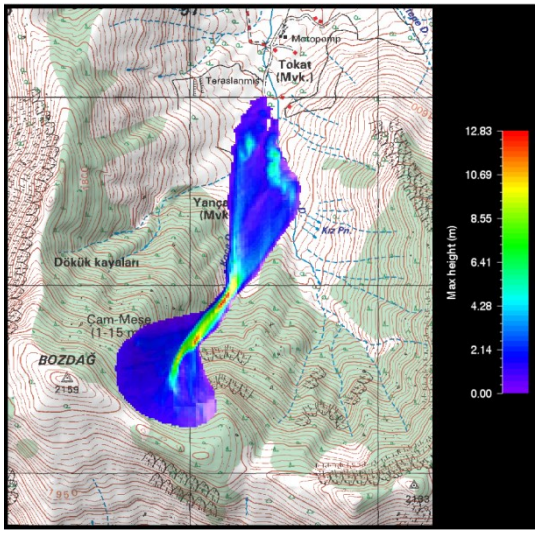


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=30)

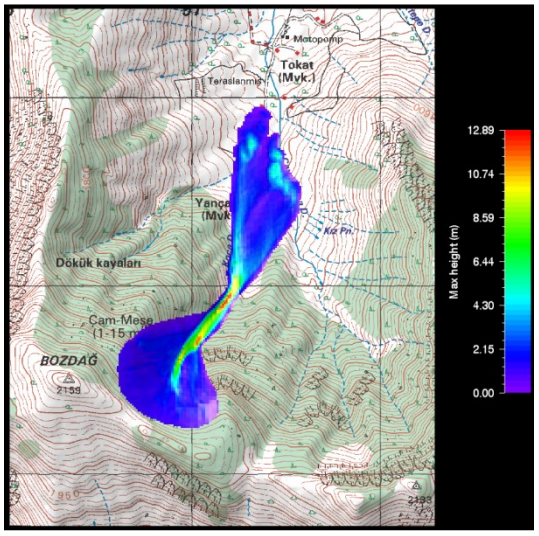


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=10)

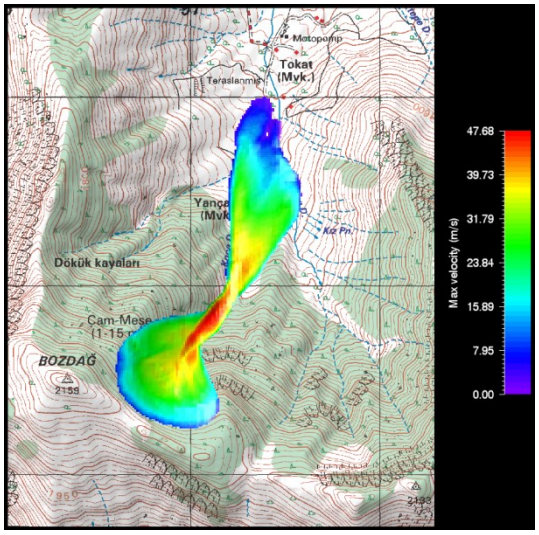
Şekil 107. S2-H75-Tr30 ve S2-H75-Tr10 Analiz Sonuçları



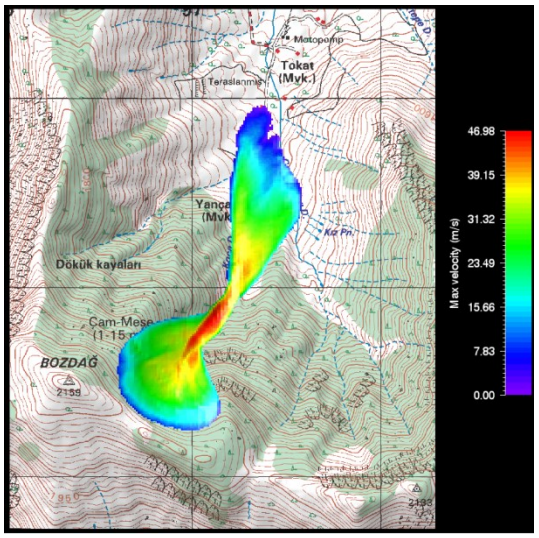
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=300)



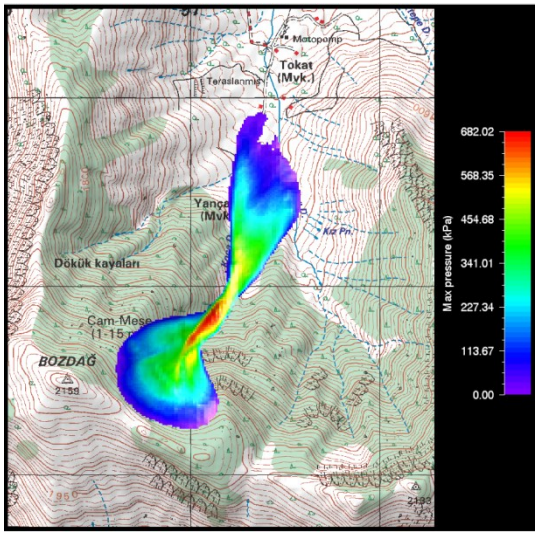
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=100)



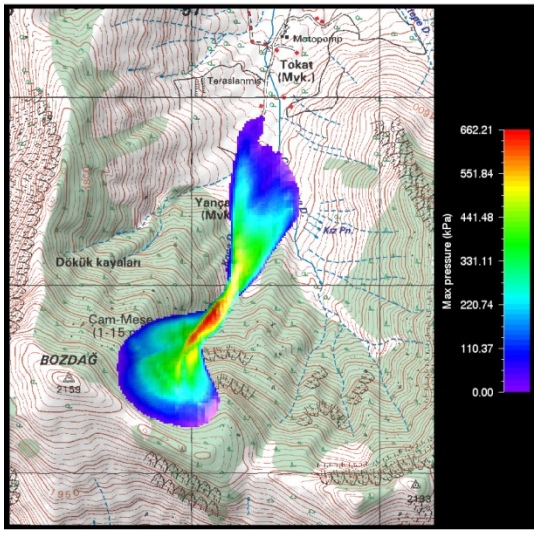
c. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=100)

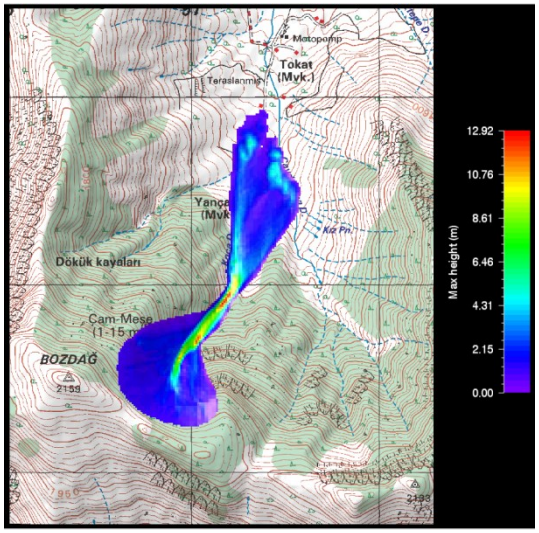


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=300)

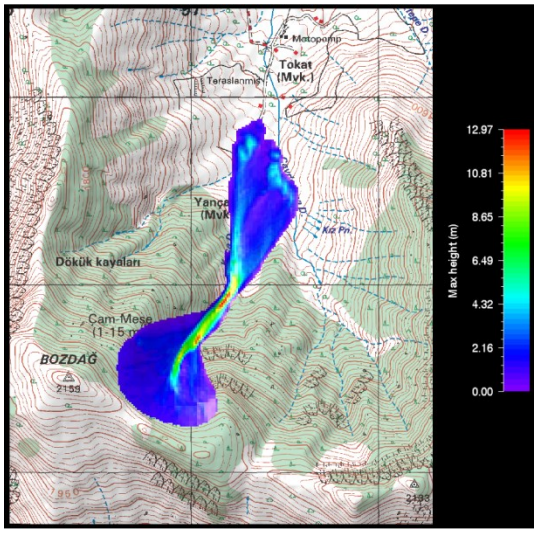


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=100)

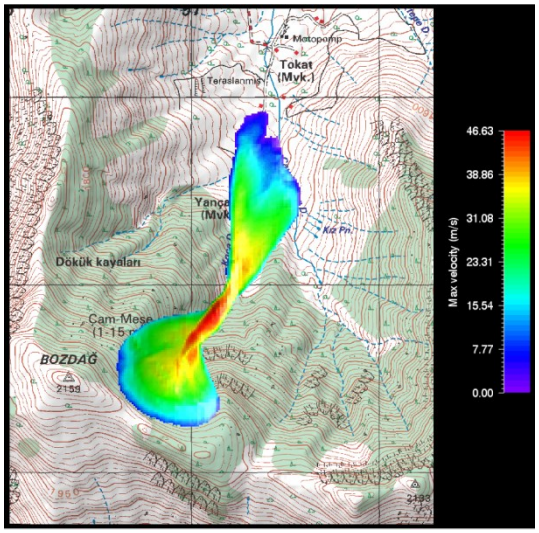
Şekil 108. S2-H100-Tr300 ve S2-H100-Tr100 Analiz Sonuçları



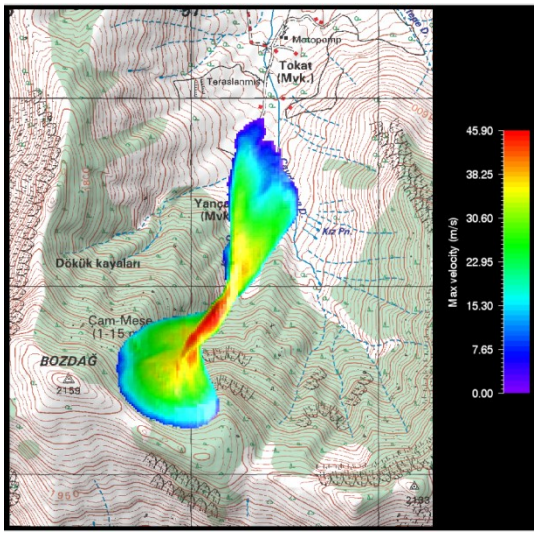
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=30)



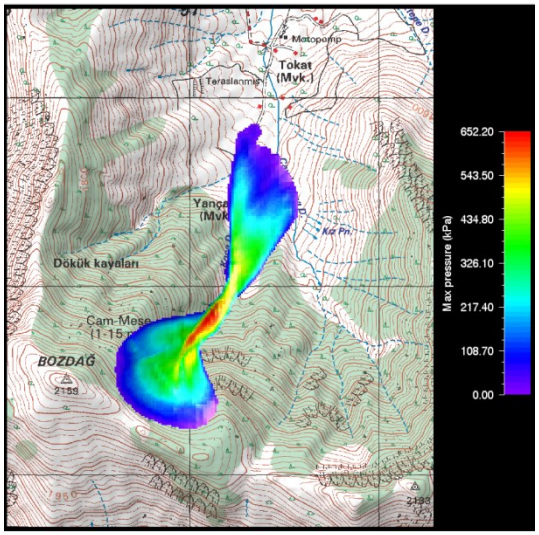
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=10)



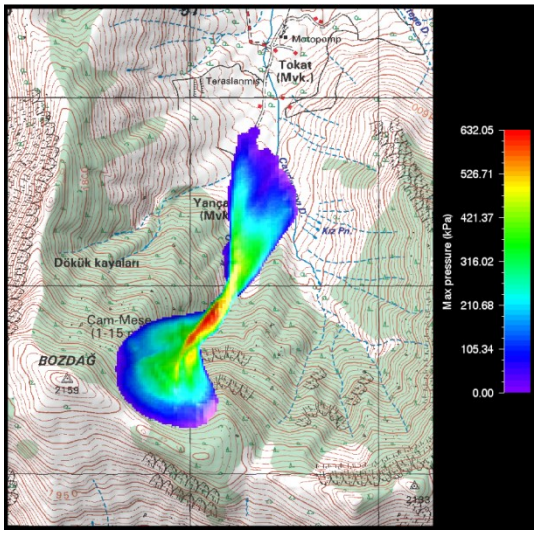
c. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=10)

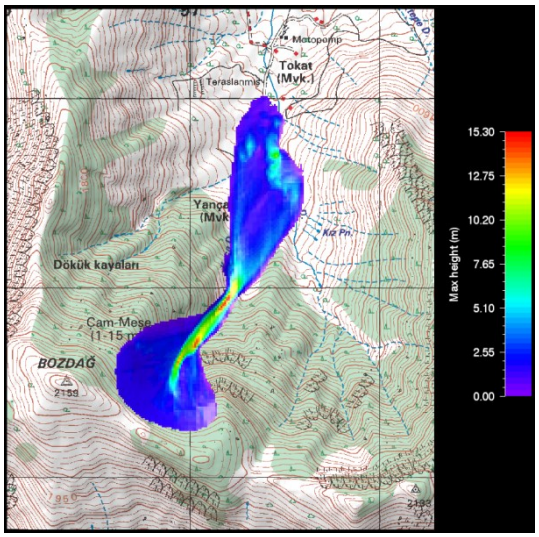


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=30)

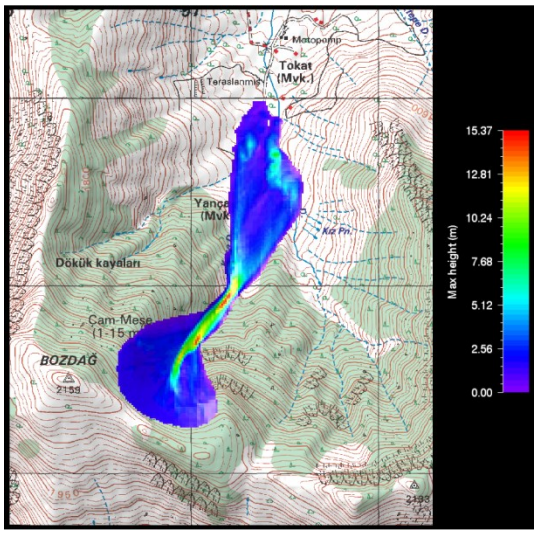


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=10)

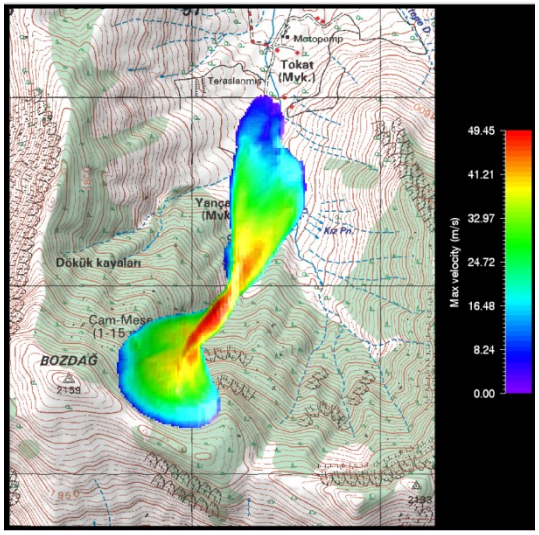
Şekil 109. S2-H100-Tr30 ve S2-H100-Tr10 Analiz Sonuçları



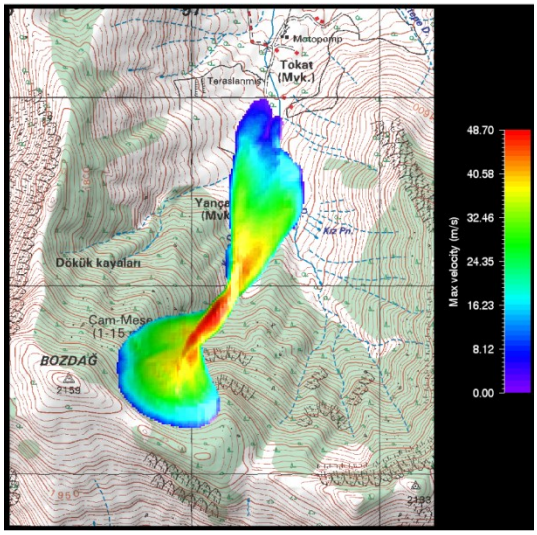
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=300)



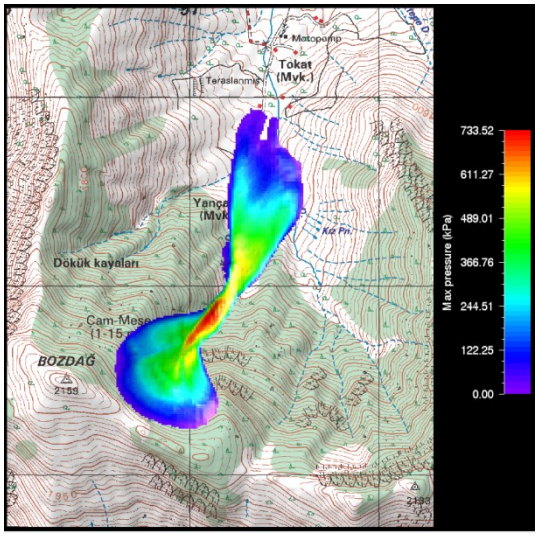
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=100)



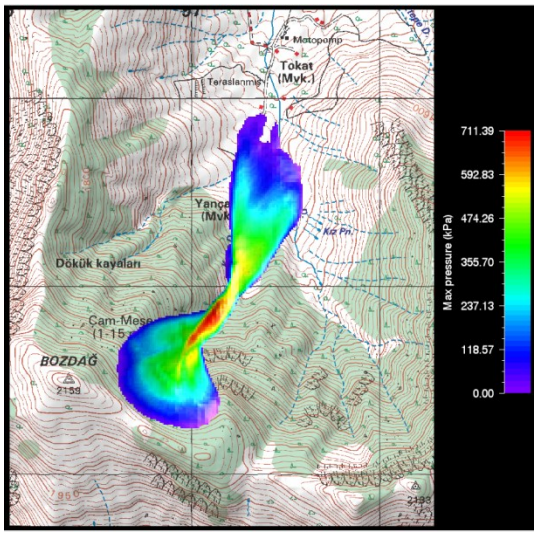
c. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=100)

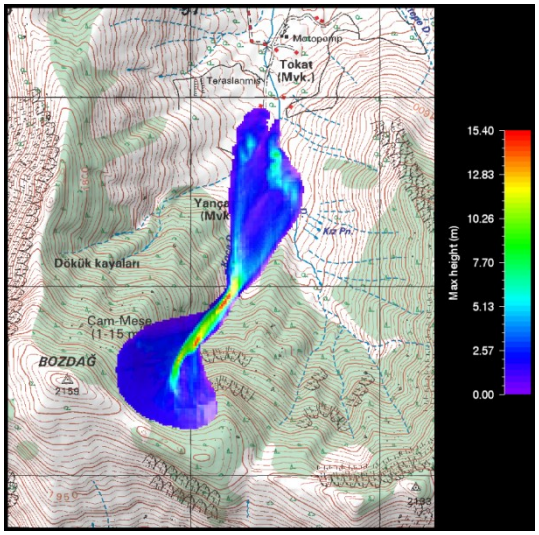


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=300)

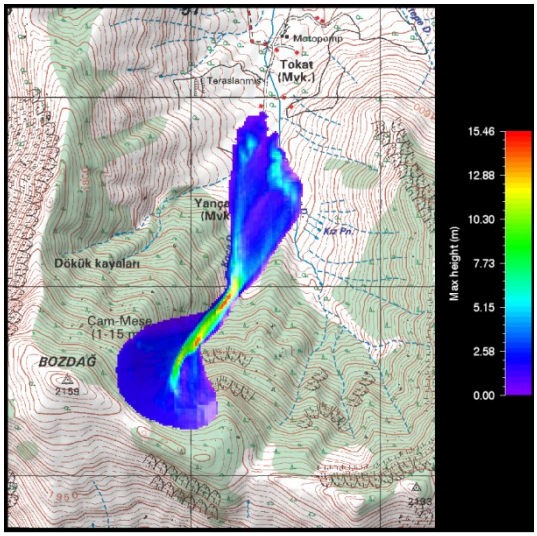


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=100)

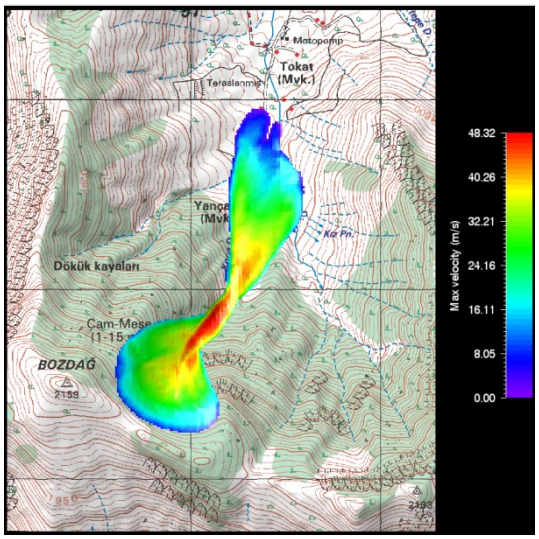
Şekil 110. S2-H125-Tr300 ve S2-H125-Tr100 Analiz Sonuçları



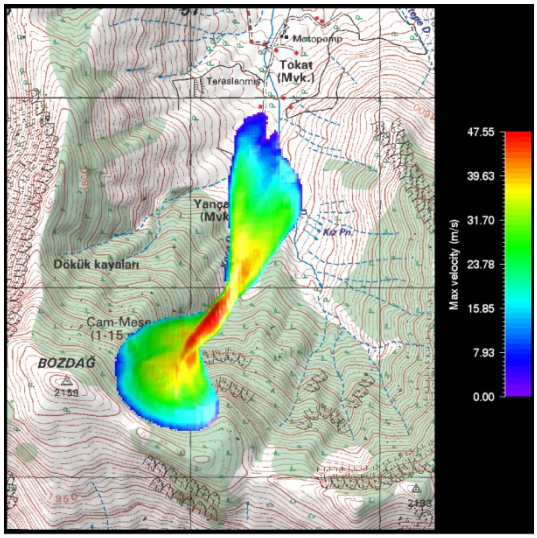
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=30)



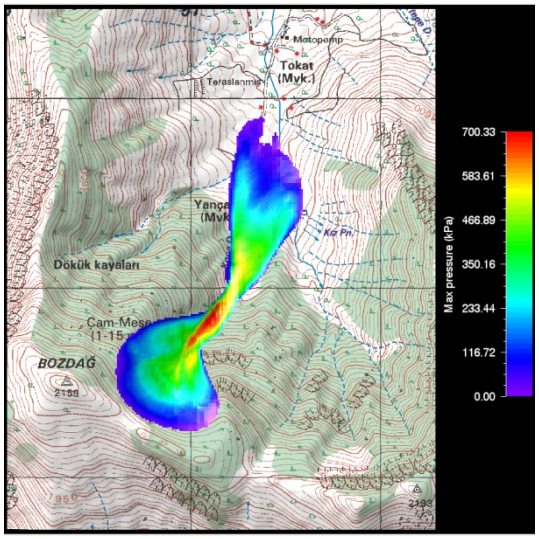
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=10)



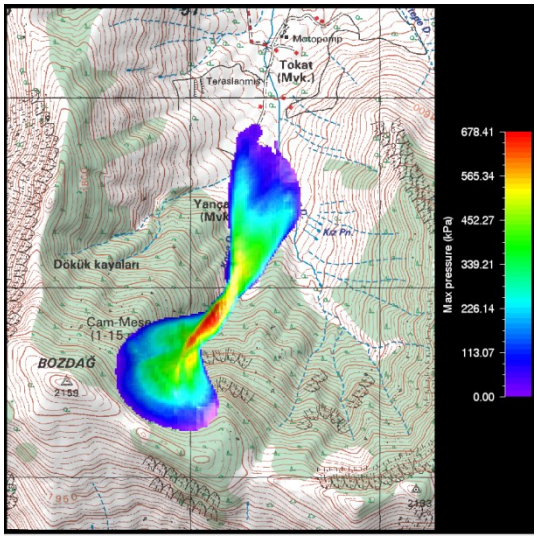
c. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=10)

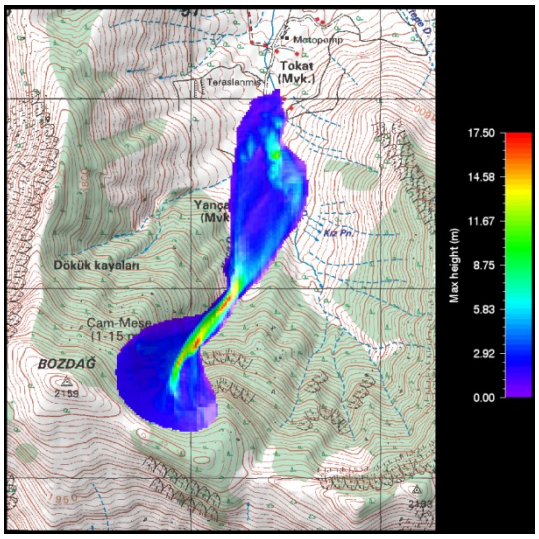


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=30)

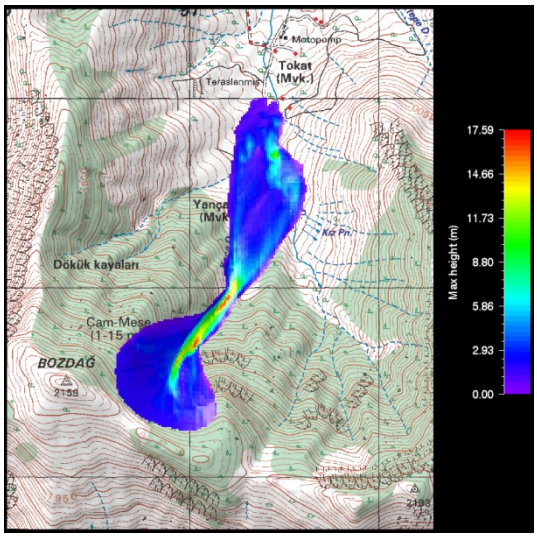


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=10)

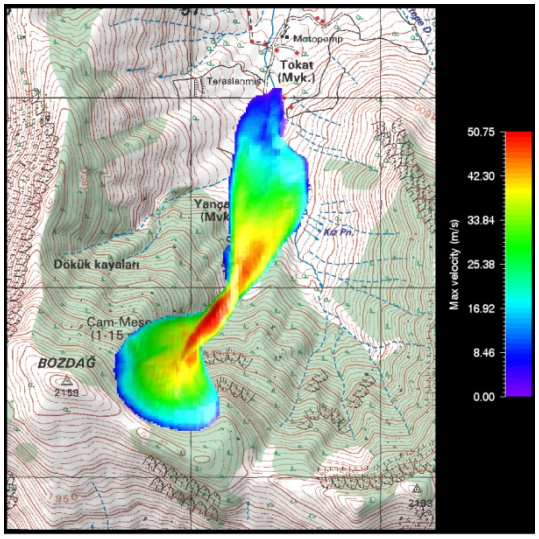
Şekil 111. S2-H125-Tr30 ve S2-H125-Tr10 Analiz Sonuçları



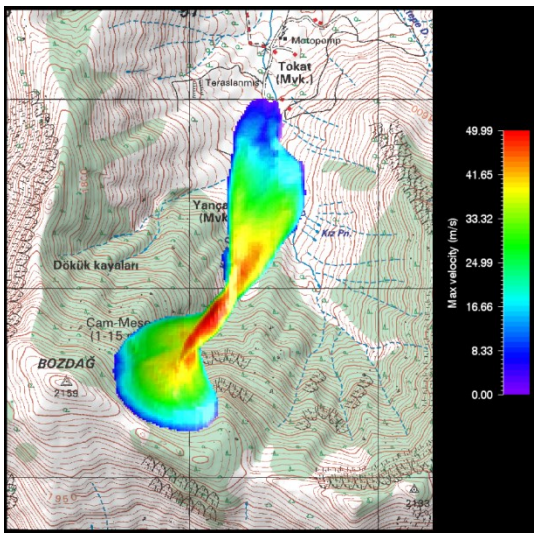
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=300)



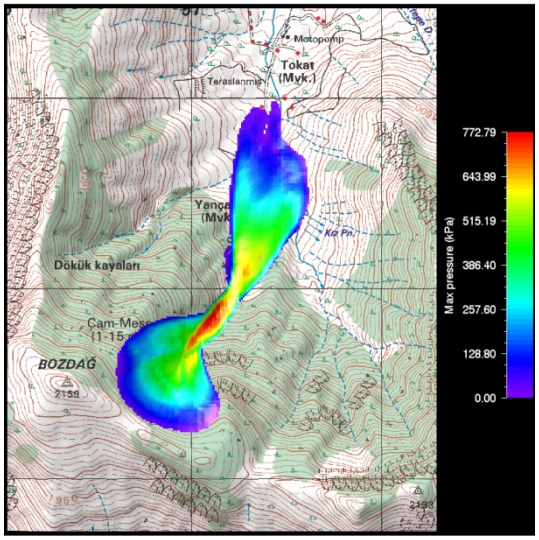
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=100)



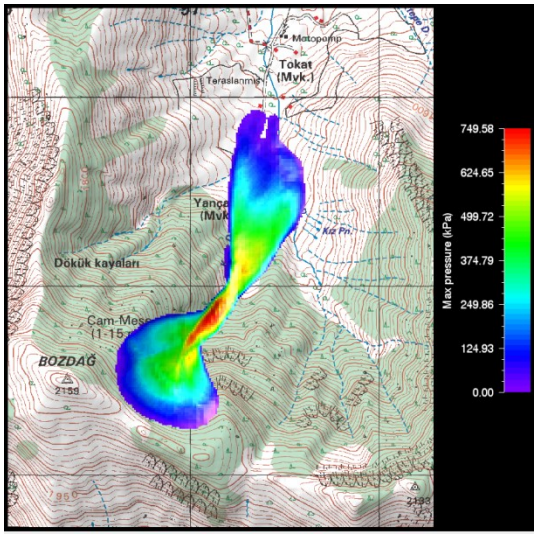
c. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=100)

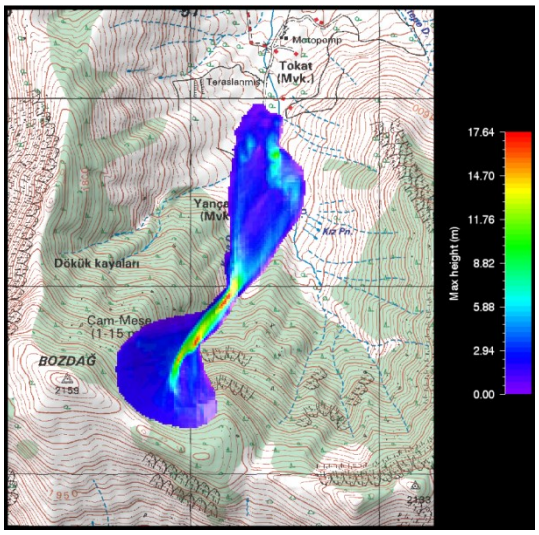


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=300)

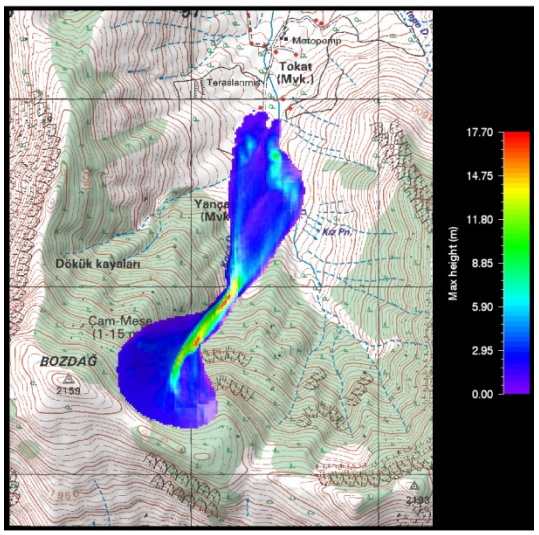


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=100)

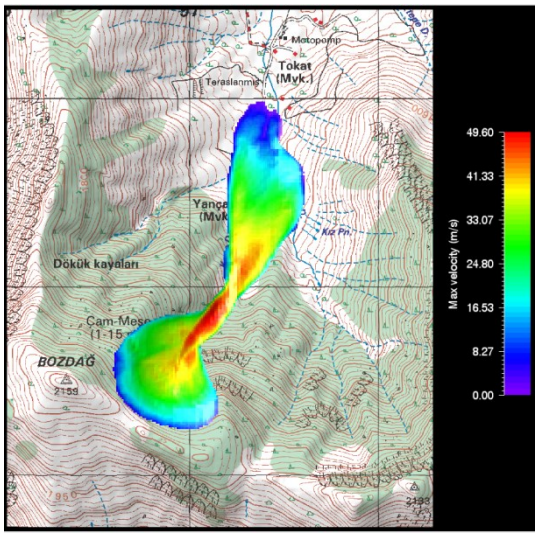
Şekil 112. S2-H150-Tr300 ve S2-H150-Tr100 Analiz Sonuçları



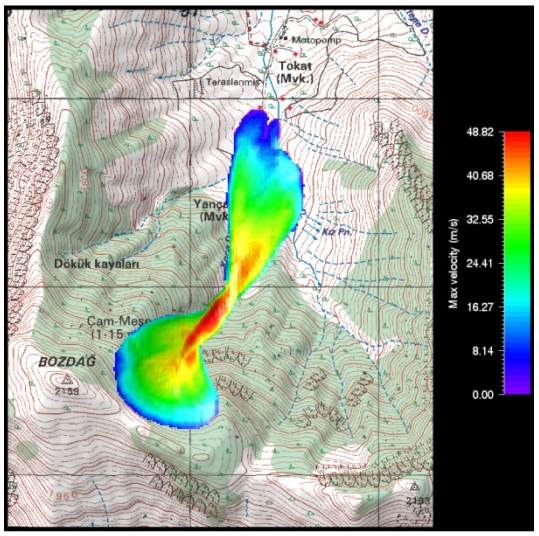
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=30)



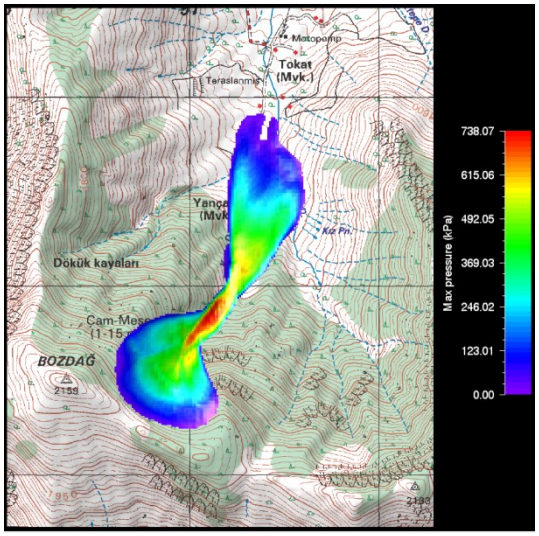
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=10)



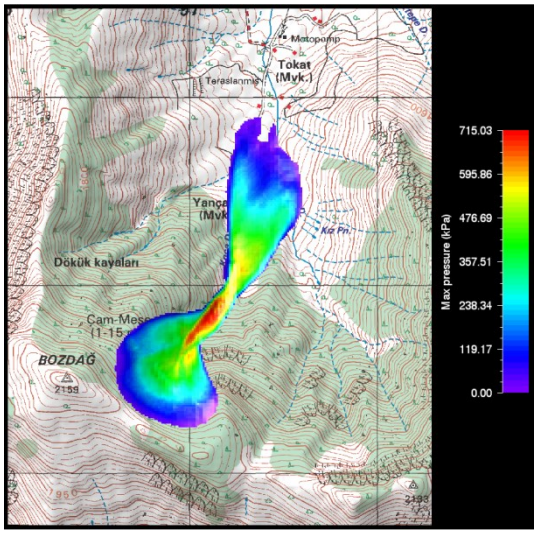
c. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=10)



e. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=30)



f. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=10)

Şekil 113. S2-H150-Tr30 ve S2-H150-Tr10 Analiz Sonuçları

Senaryo 2' de yapılan tüm analizlere ait sonuçlar bir özet şeklinde Tablo 16'da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde RAMMS programında Senaryo 2'de farklı periyotlara göre elde edilen maksimum çığ hızı, yüksekliği ve basınç sonuçları görülebilmektedir.

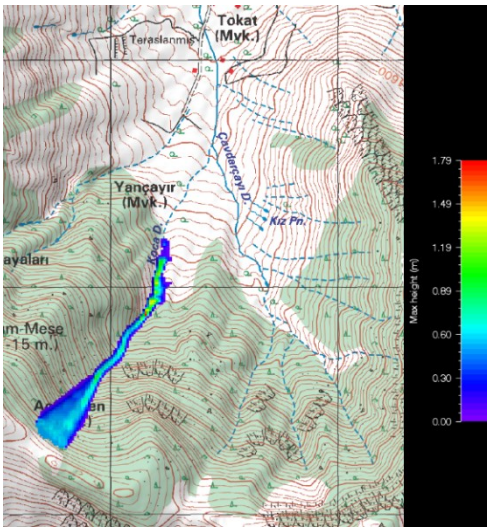
Tablo 16 Senaryo 2 Sonuçları Özet Tablosu

Senaryo 2 için Yineleme Periyoduna Göre Maksimum Çığ Parametreleri Değişimi					
Analiz Numarası	**Kopma Derinliği (m)**	**Yineleme Periyodu (Tr)**	**Maksimum çığ yüksekliği (m)**	**Maksimum çığ hızı (m/s)**	**Maksimum çığ basıncı (kPa)**
S2-H50-Tr300	0.5	300	7.34	40.70	496.98
S2-H50-Tr100		100	7.33	40.04	481.03
S2-H50-Tr30		30	7.35	39.70	472.94
S2-H50-Tr10		10	7.41	39.02	456.77
S2-H75-Tr300	0.75	300	10.30	45.18	612.49
S2-H75-Tr100		100	10.32	44.19	593.69
S2-H75-Tr30		30	10.34	44.13	584.31
S2-H75-Tr10		10	10.36	43.41	565.45
S2-H100-Tr300	1.00	300	12.83	47.68	682.02
S2-H100-Tr100		100	12.89	46.98	662.21
S2-H100-Tr30		30	12.92	46.63	652.20
S2-H100-Tr10		10	12.97	45.90	632.05
S2-H125-Tr300	1.25	300	15.30	49.45	733.52
S2-H125-Tr100		100	15.37	48.70	711.39
S2-H125-Tr30		30	15.40	48.32	700.33
S2-H125-Tr10		10	15.46	47.55	678.41
S2-H150-Tr300	1.50	300	17.50	50.75	772.79
S2-H150-Tr100		100	17.59	49.99	749.58
S2-H150-Tr30		30	17.64	49.60	738.07
S2-H150-Tr10		10	17.70	48.82	715.03

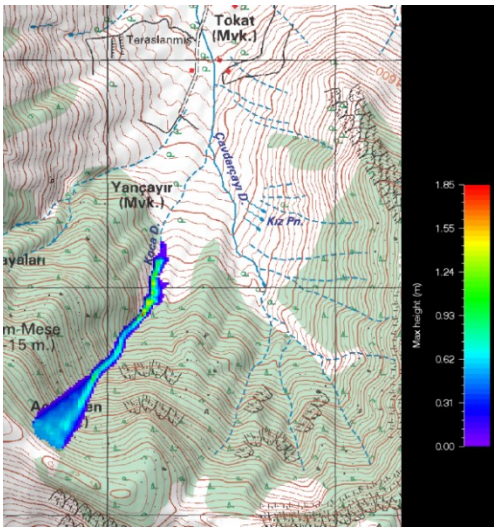
Senaryo 3'te Senaryo 1 ve 2'de olduğu gibi aynı değişkenler kullanılmıştır. Senaryo 3 için kullanılan bu parametreler Tablo 17'de özetlenmiştir.

Tablo 17. Senaryo 3'e ait analizlerde kullanılan girdi verileri

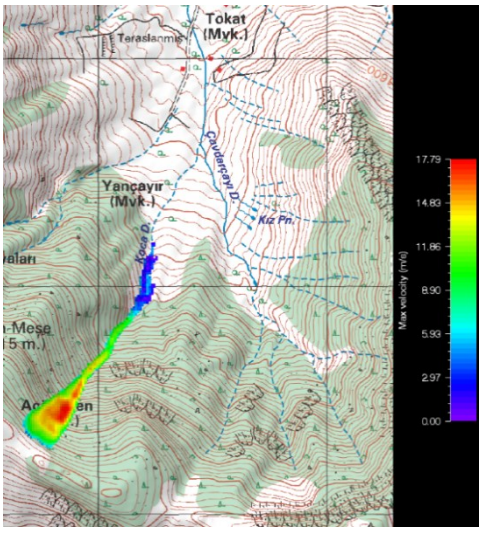
Senaryo 3		
Analiz Numarası	Yineleme Periyodu (Yıl)	Çığ Kopma Derinliği(cm)
S3-H50-Tr300	Tr=300	h=50
S3-H50-Tr100	Tr=100	
S3-H50-Tr30	Tr=30	
S3-H50-Tr10	Tr=10	
S3-H75-Tr300	Tr=300	h=75
S3-H75-Tr100	Tr=100	
S3-H75-Tr30	Tr=30	
S3-H75-Tr10	Tr=10	
S3-H100-Tr300	Tr=300	h=100
S3-H100-Tr100	Tr=100	
S3-H100-Tr30	Tr=30	
S3-H100-Tr10	Tr=10	
S3-H125-Tr300	Tr=300	h=125
S3-H125-Tr100	Tr=100	
S3-H125-Tr30	Tr=30	
S3-H125-Tr10	Tr=10	
S3-H150-Tr300	Tr=300	h=150
S3-H150-Tr100	Tr=100	
S3-H150-Tr30	Tr=30	
S3-H150-Tr10	Tr=10	



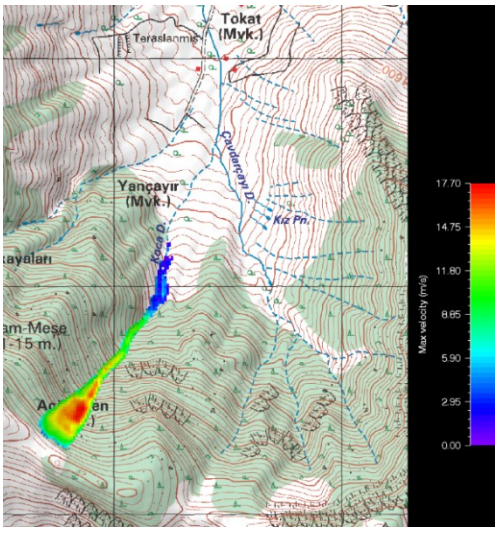
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=300)



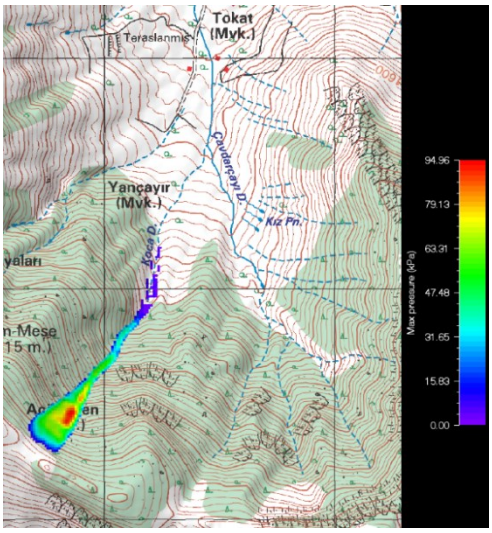
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=100)



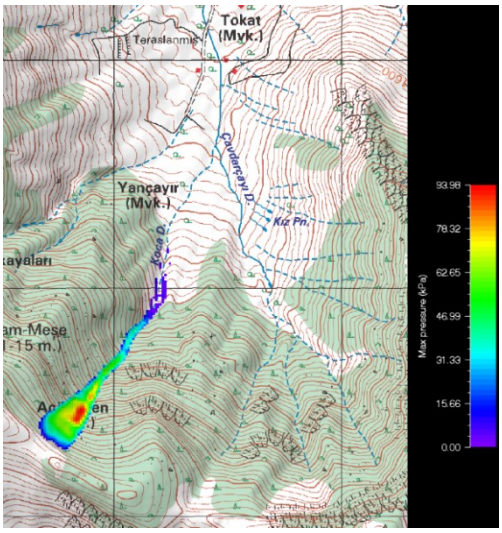
c. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=100)

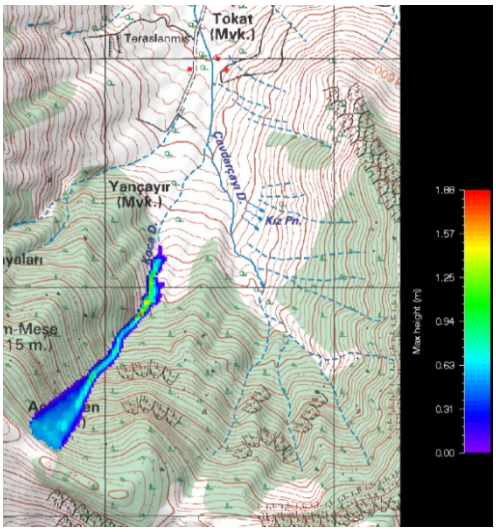


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=300)

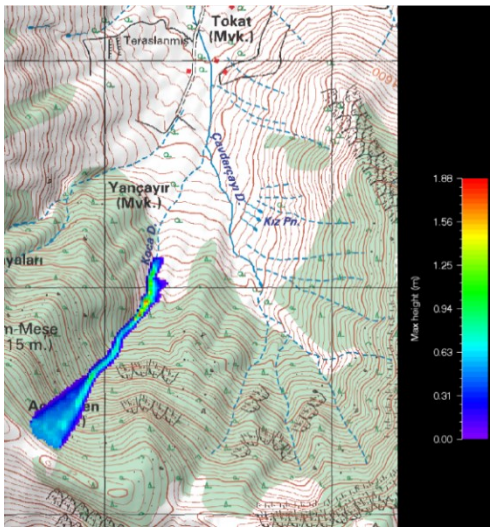


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=100)

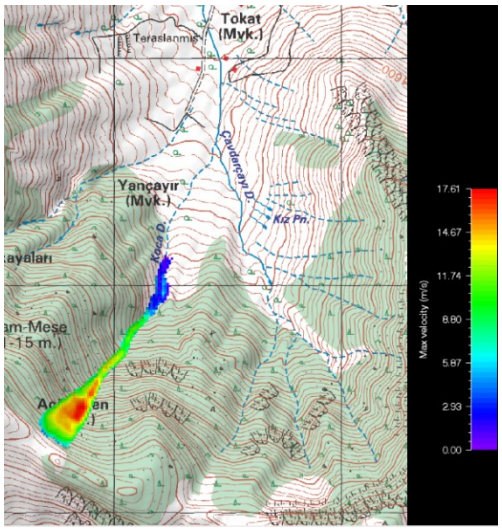
Şekil 114 S3-H50-Tr300 ve S3-H50-Tr100 Analiz Sonuçları



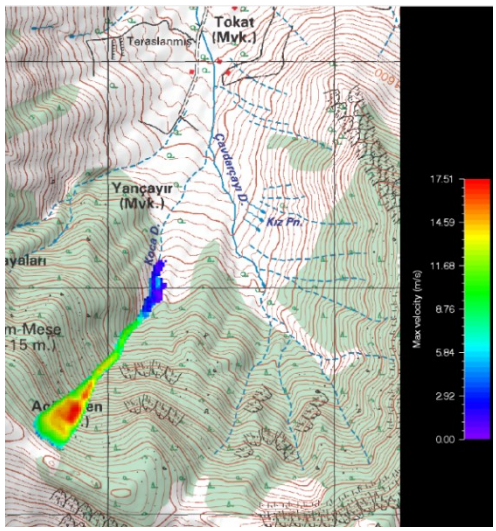
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=30)



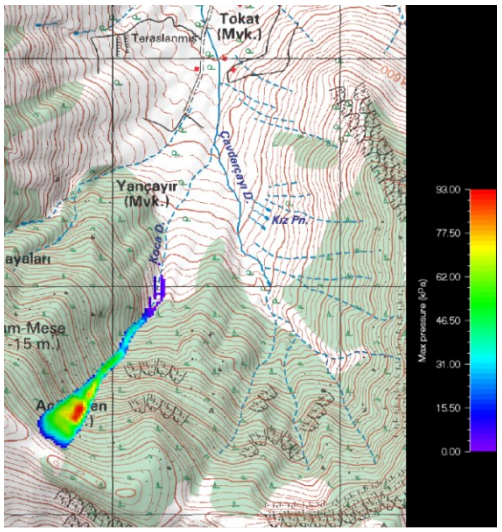
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.5 Tr=10)



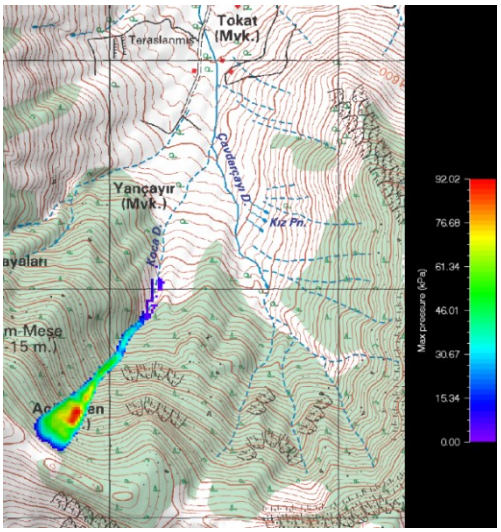
c. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.5 Tr=10)

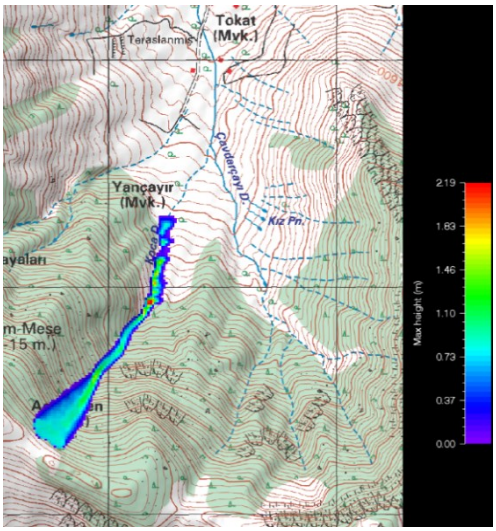


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=30)

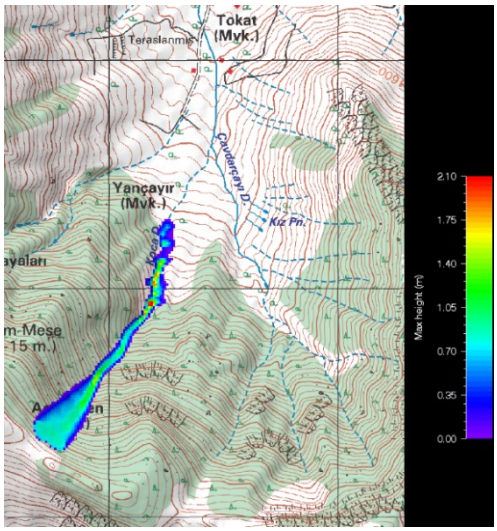


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.5 Tr=10)

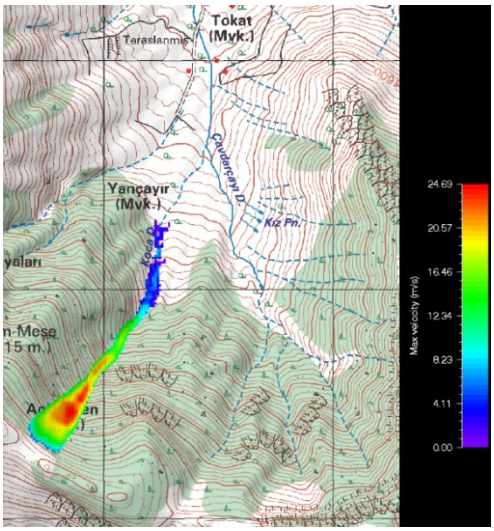
Şekil 115 S3-H50-Tr30 ve S3-H50-Tr10 Analiz Sonuçları



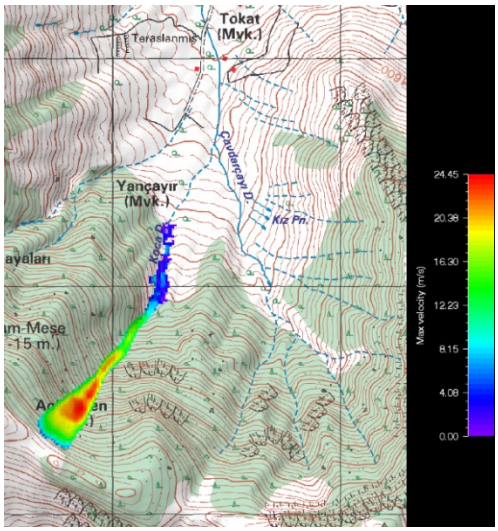
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=300)



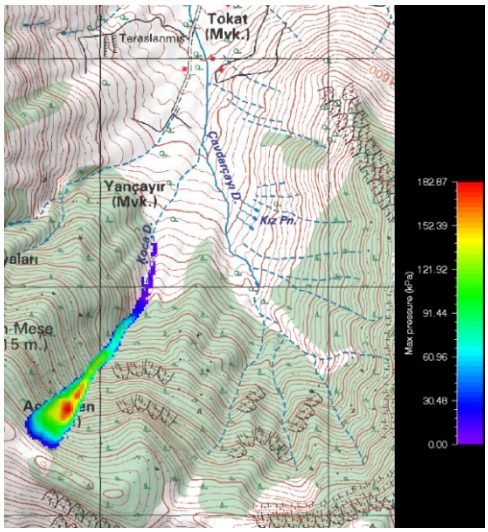
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=100)



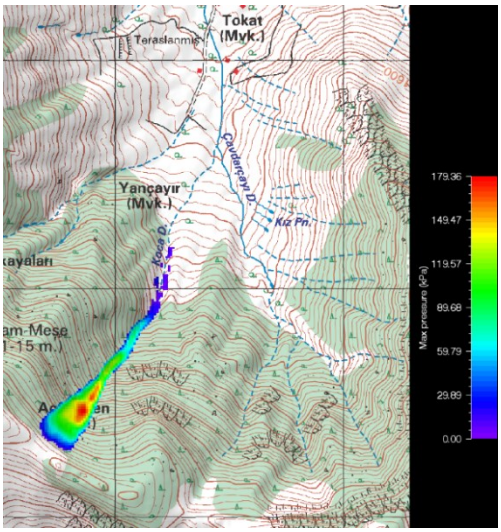
c. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=100)

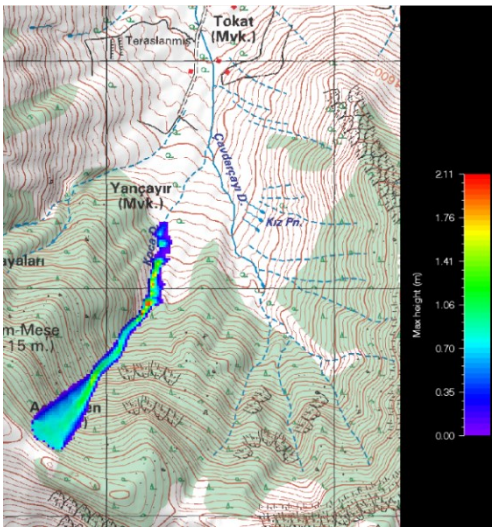


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=300)

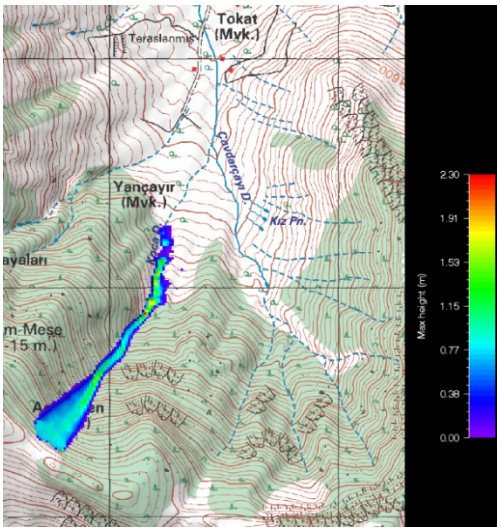


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=100)

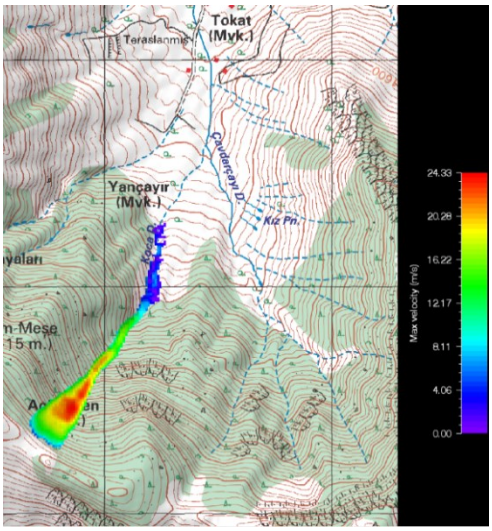
Şekil 116 S3-H75-Tr300 ve S3-H75-Tr100 Analiz Sonuçları



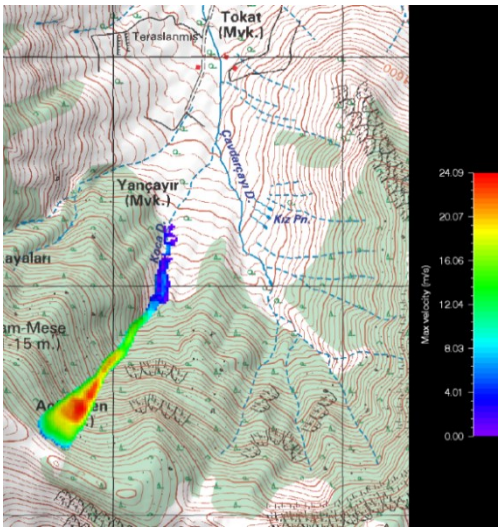
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=30)



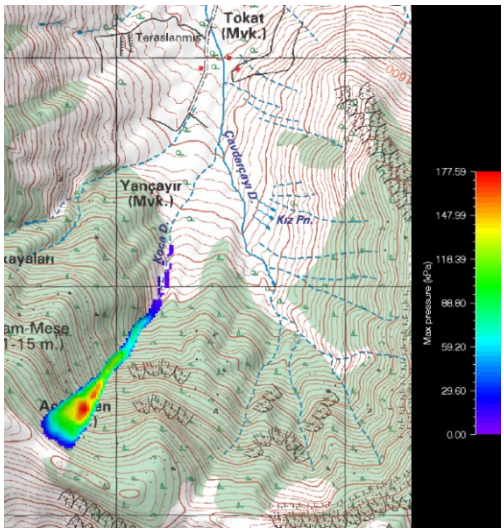
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=0.75 Tr=10)



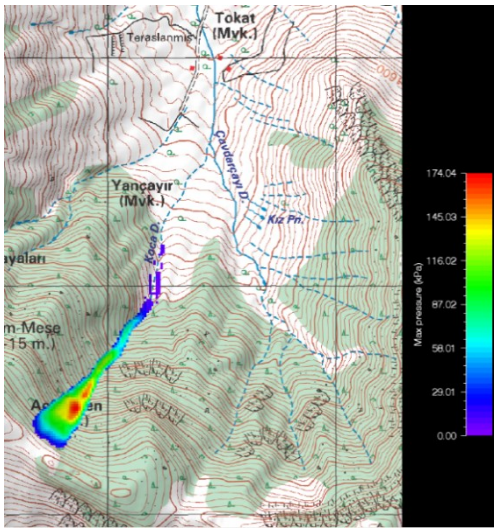
c. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=0.75 Tr=10)

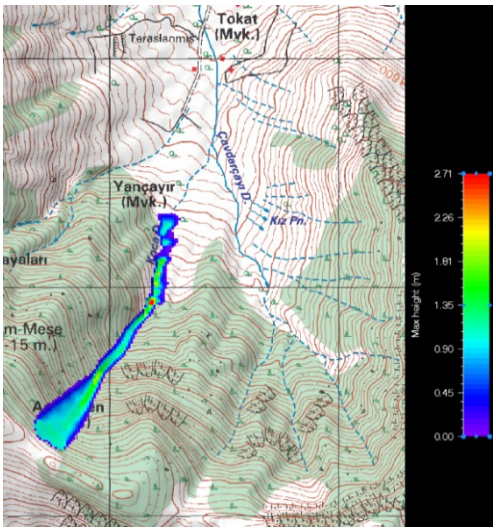


e. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=30)

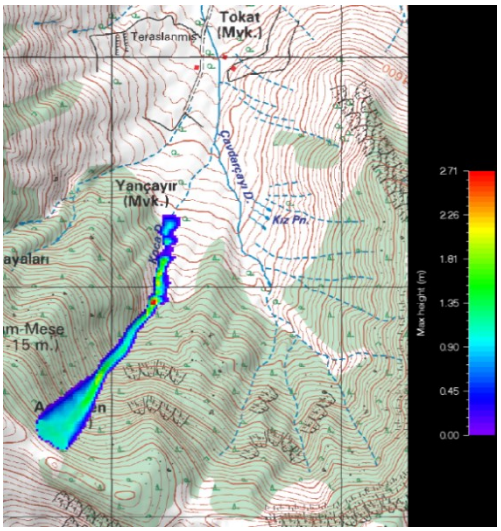


f. Maksimum çığ basıncı (h=0.75 Tr=10)

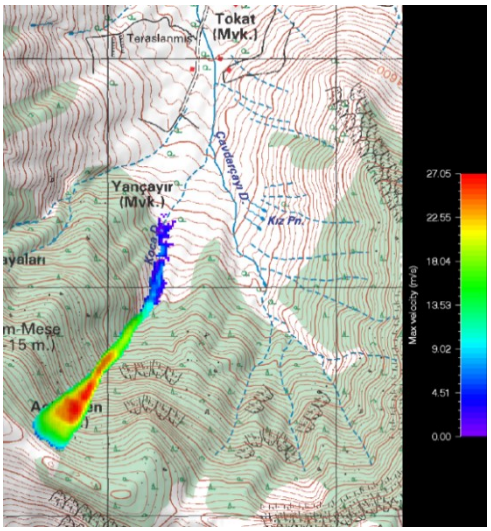
Şekil 117 S3-H75-Tr30 ve S3-H75-Tr10 Analiz Sonuçları



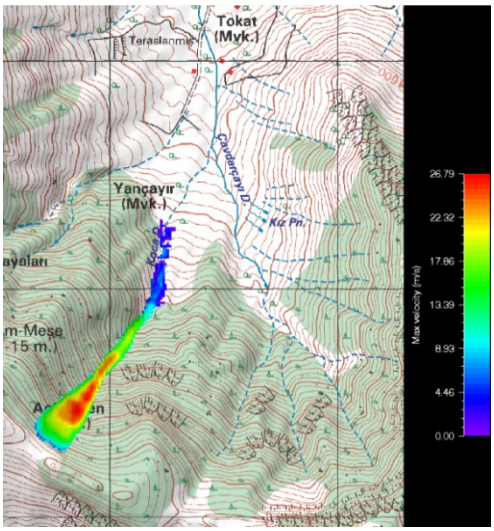
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=300)



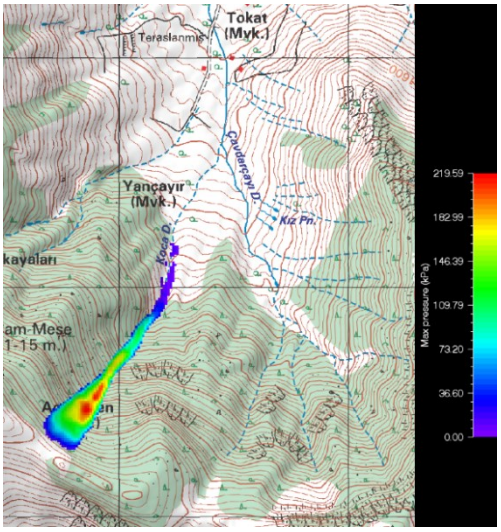
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=100)



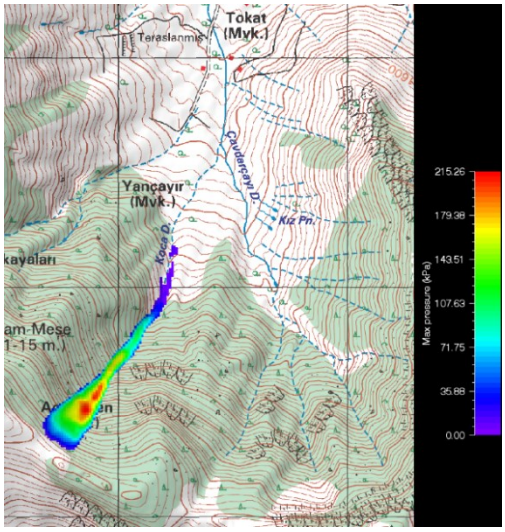
c. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=100)

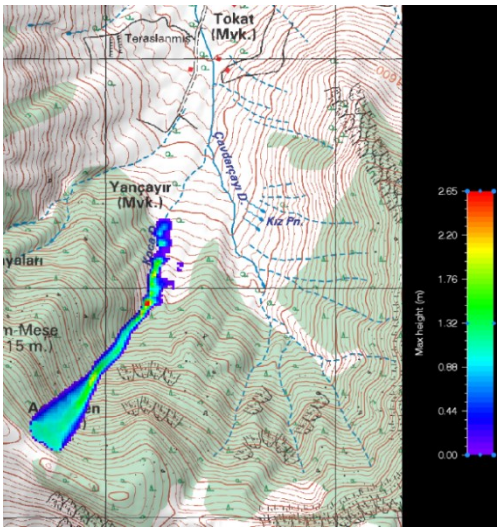


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=300)

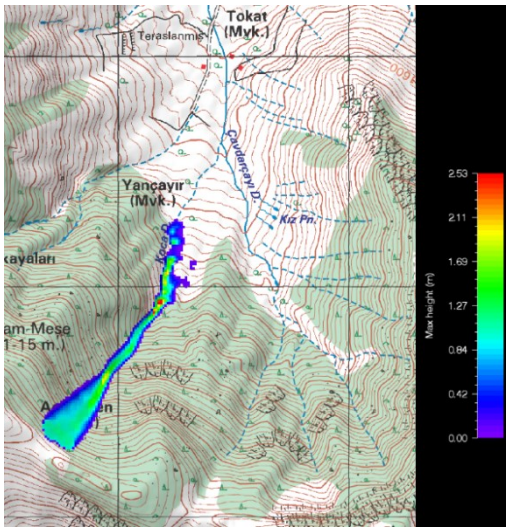


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=100)

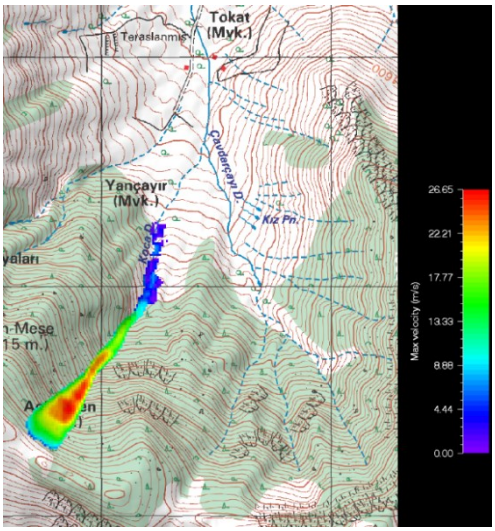
Şekil 118 S3-H100-Tr300 ve S3-H100-Tr100 Analiz Sonuçları



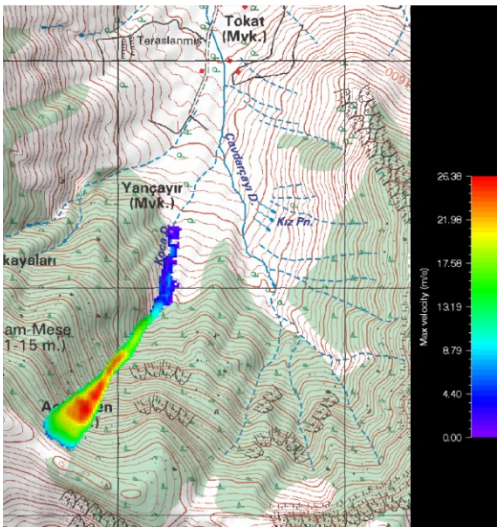
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=30)



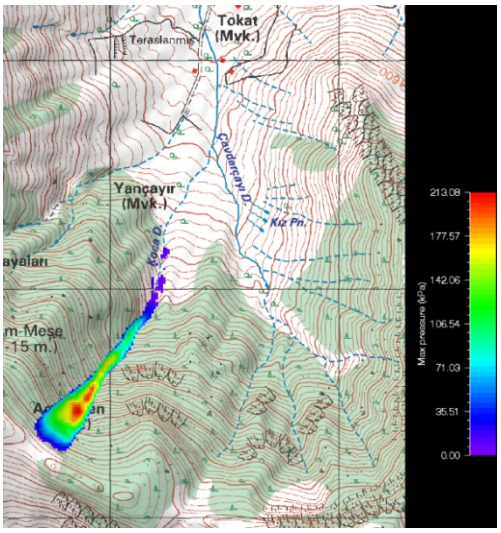
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.00 Tr=10)



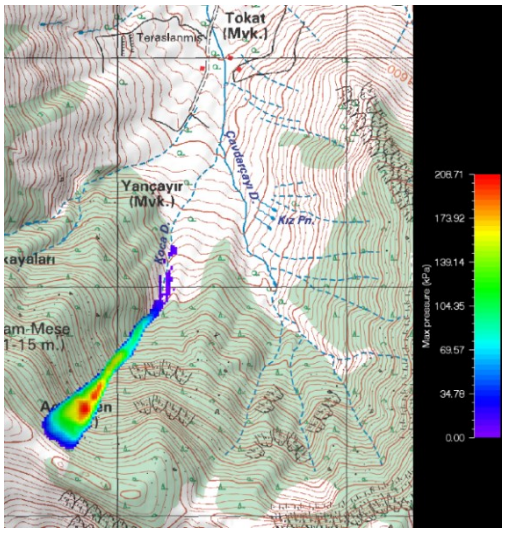
c. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.00 Tr=10)

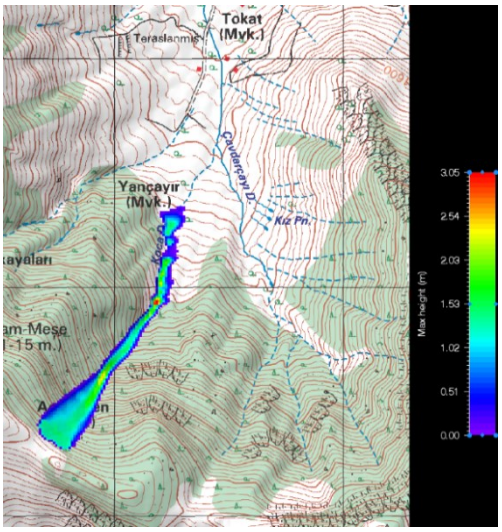


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=30)

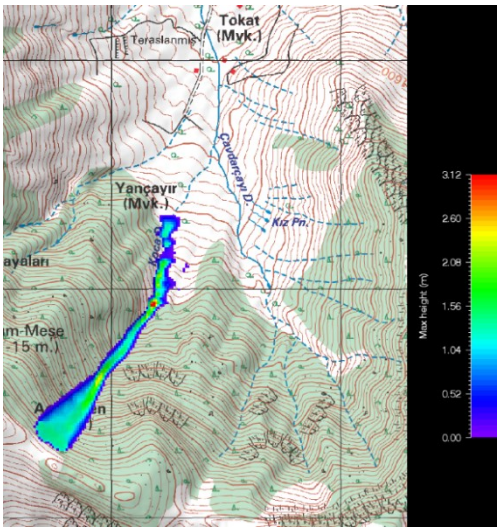


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.00 Tr=10)

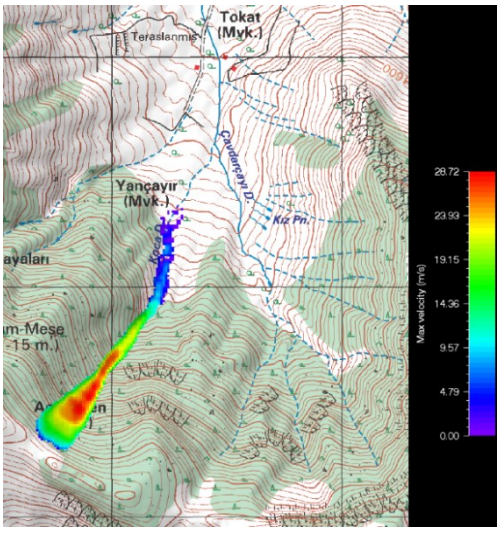
Şekil 119 S3-H100-Tr30 ve S3-H100-Tr10 Analiz Sonuçları



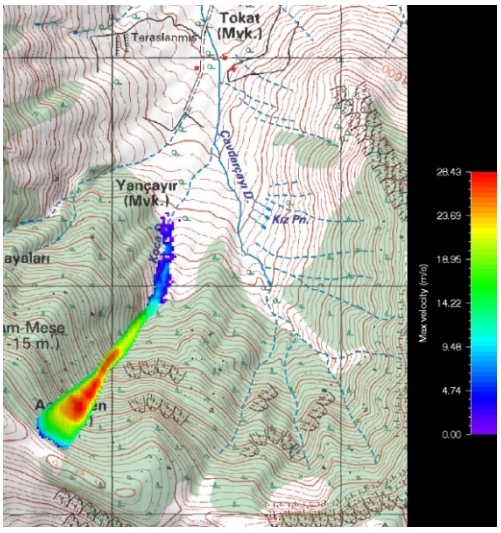
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=300)



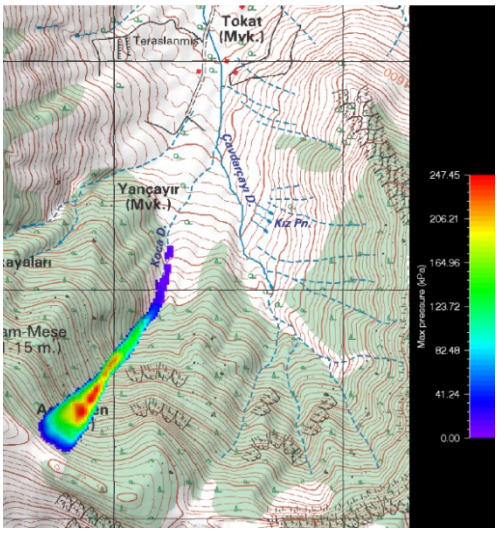
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=100)



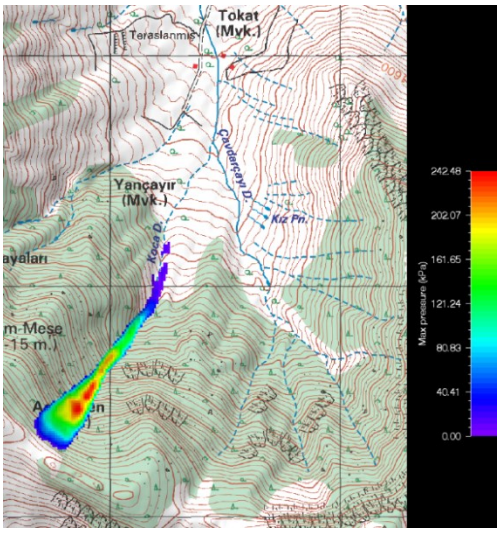
c. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=100)

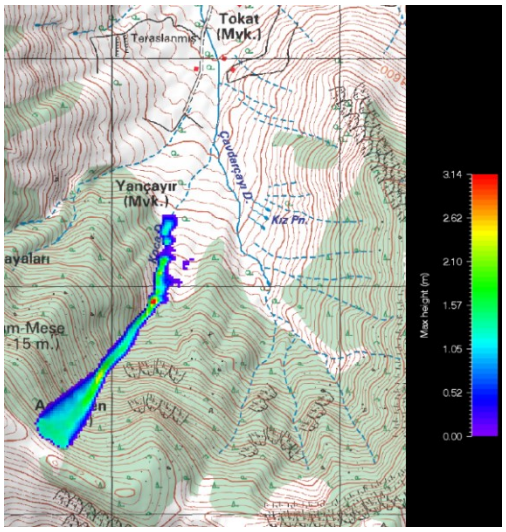


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=300)

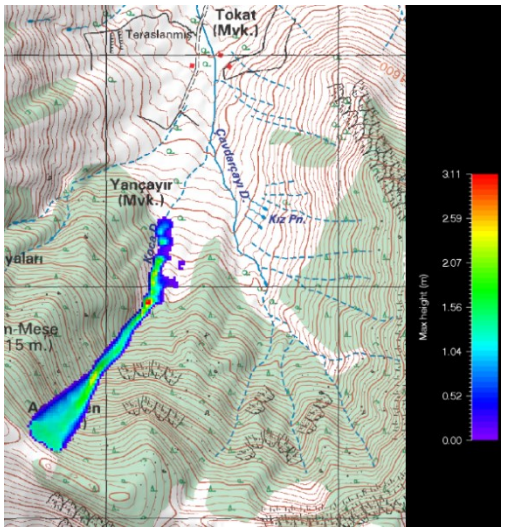


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=100)

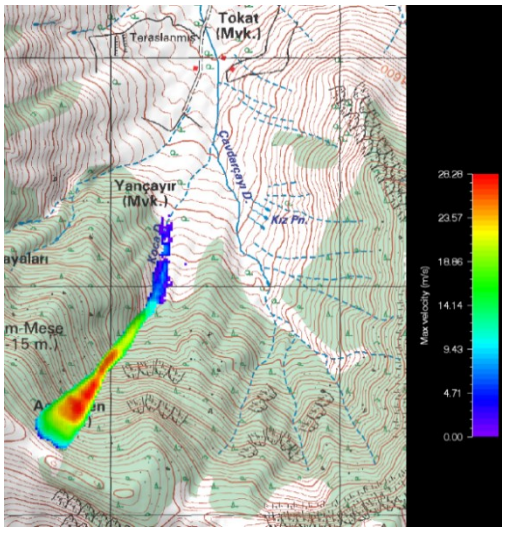
Şekil 120 S3-H125-Tr300 ve S3-H125-Tr100 Analiz Sonuçları



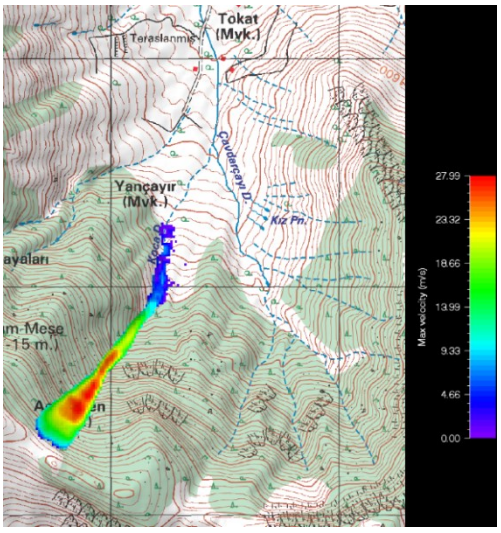
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=30)



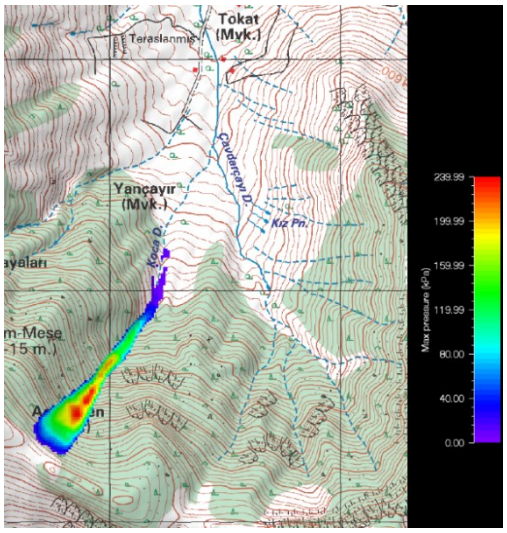
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.25 Tr=10)



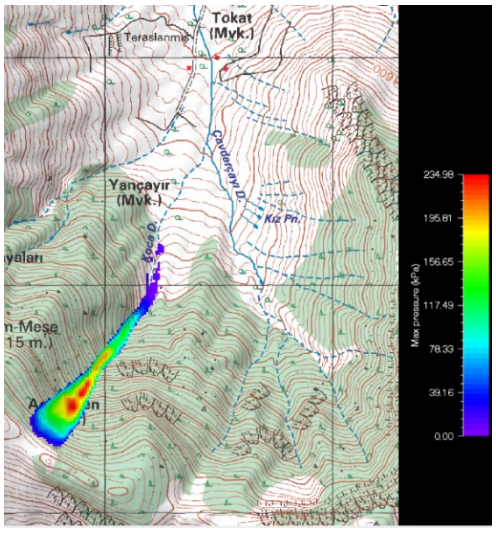
c. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.25 Tr=10)

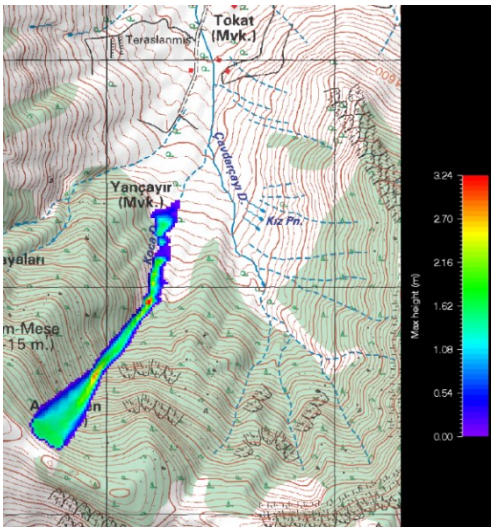


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=30)

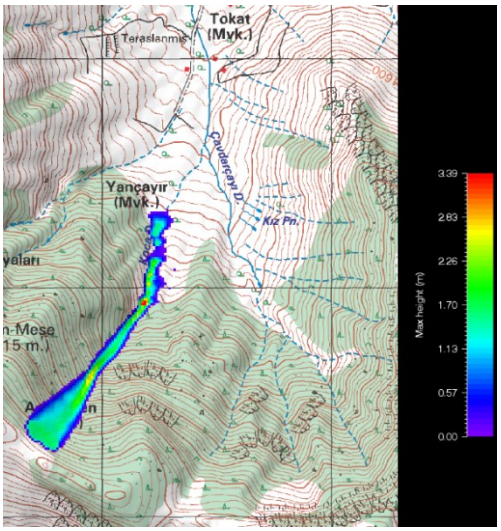


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.25 Tr=10)

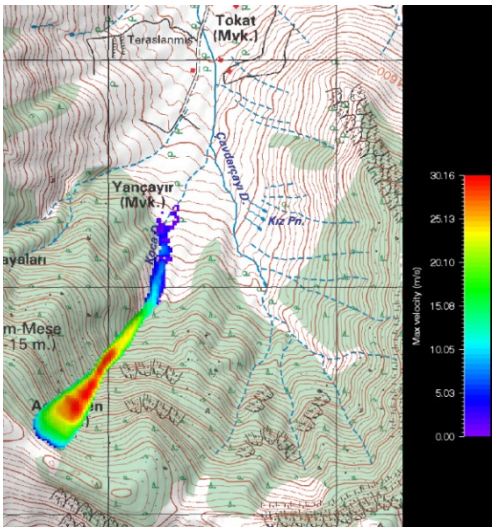
Şekil 121 S3-H125-Tr30 ve S3-H125-Tr10 Analiz Sonuçları



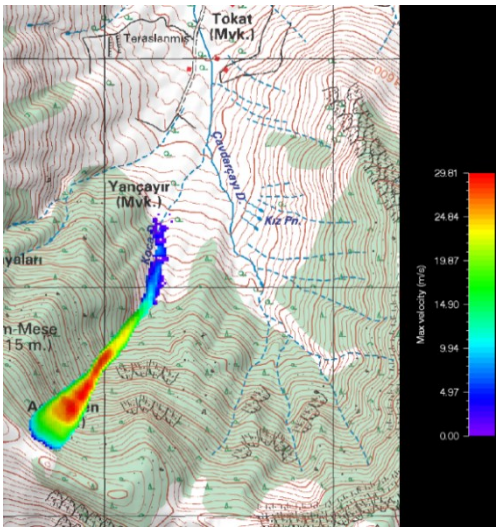
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=300)



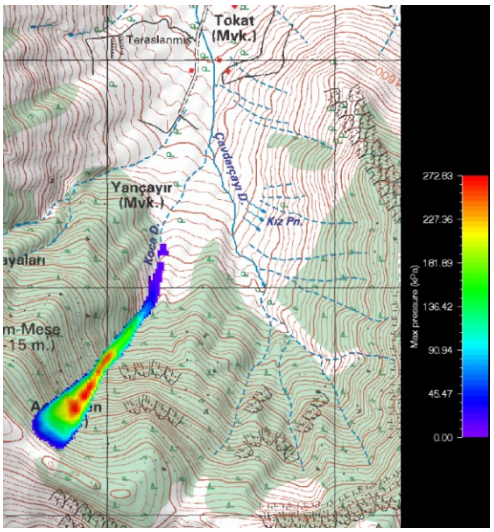
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=100)



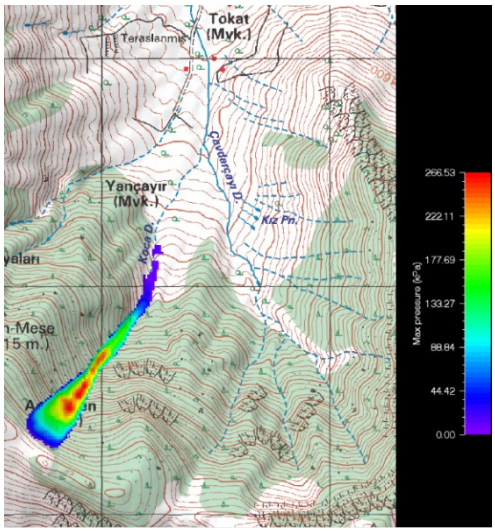
c. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=300)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=100)

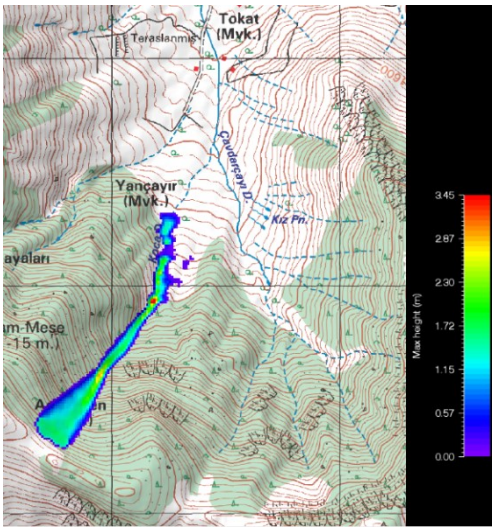


e. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=300)

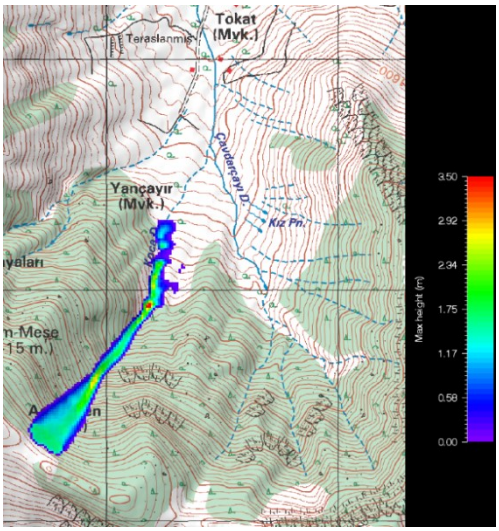


f. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=100)

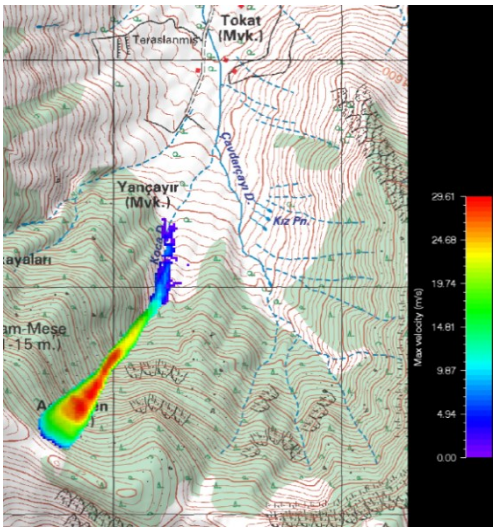
Şekil 122 S3-H150-Tr300 ve S3-H150-Tr100 Analiz Sonuçları



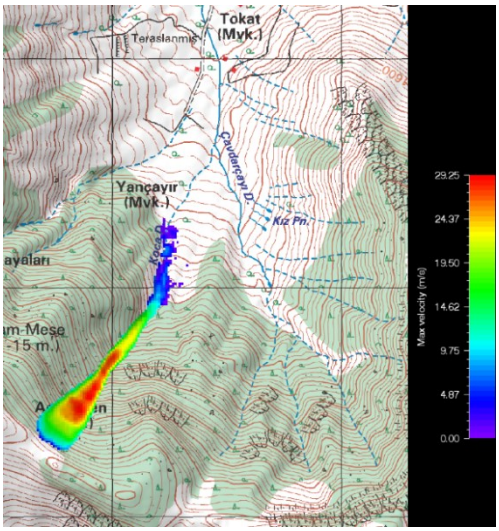
a. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=30)



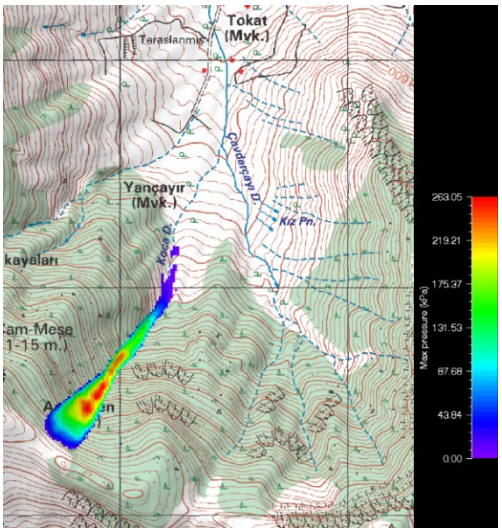
b. Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=10)



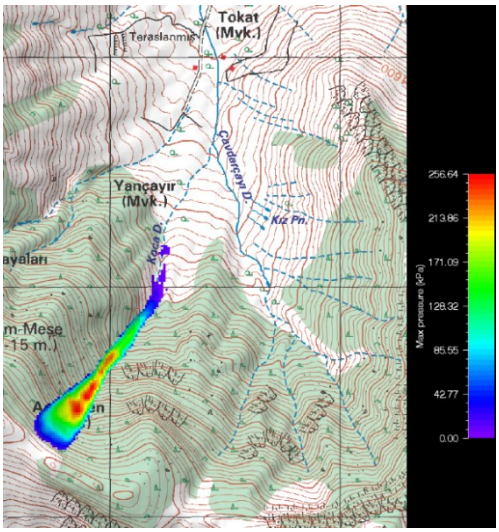
c. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=30)



d. Maksimum çığ hızı (h=1.50 Tr=10)



e. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=30)



f. Maksimum çığ basıncı (h=1.50 Tr=10)

Şekil 123 S3-H150-Tr30 ve S3-H150-Tr10 Analiz Sonuçları

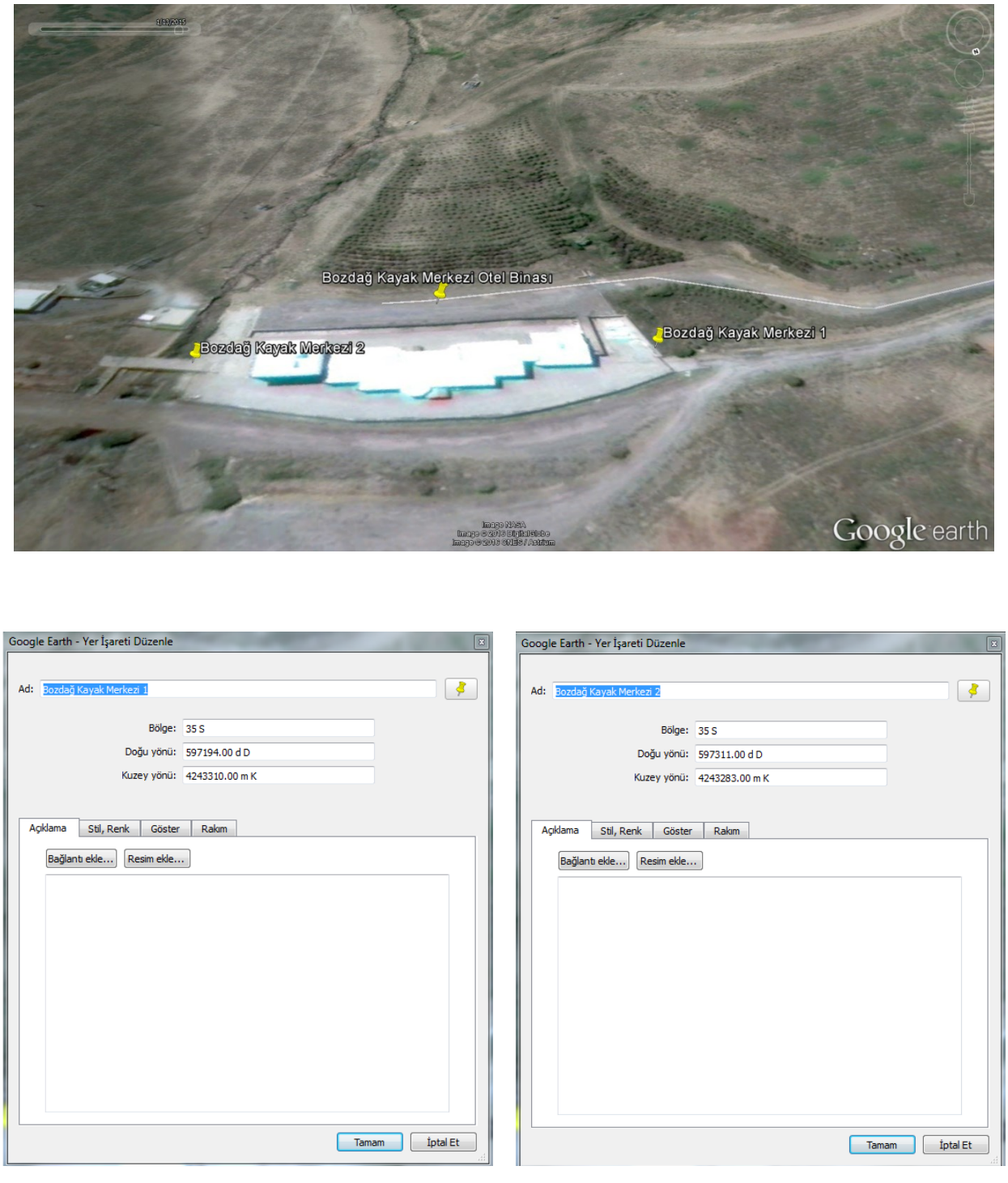
Senaryo 3' te yapılan tüm analizlere ait sonuçlar bir özet şeklinde Tablo 18'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde RAMMS programında Senaryo 3'te farklı periyotlara göre elde edilen maksimum çığ hızı, yüksekliği ve basınç sonuçları görülebilmektedir.

Tablo 18 Senaryo 3 Sonuçları Özet Tablosu

Senaryo 3 için Yineleme Periyoduna Göre Maksimum Çığ Parametreleri Değişimi					
Analiz Numarası	**Kopma Derinliği (m)**	**Yineleme Periyodu (Tr)**	**Maksimum çığ yüksekliği (m)**	**Maksimum çığ hızı (m/s)**	**Maksimum çığ basıncı (kPa)**
S3-H50-Tr300	0.5 m	300	1.79	17.79	94.96
S3-H50-Tr100		100	1.85	17.70	93.98
S3-H50-Tr30		30	1.88	17.61	93.00
S3-H50-Tr10		10	1.88	17.51	92.02
S3-H75-Tr300	0.75	300	2.19	24.69	182.87
S3-H75-Tr100		100	2.10	24.45	179.36
S3-H75-Tr30		30	2.11	24.33	177.59
S3-H75-Tr10		10	2.30	24.09	174.04
S3-H100-Tr300	1.00	300	2.71	27.05	219.59
S3-H100-Tr100		100	2.71	26.79	215.26
S3-H100-Tr30		30	2.65	26.65	213.08
S3-H100-Tr10		10	2.53	26.38	208.71
S3-H125-Tr300	1.25	300	3.05	28.72	247.45
S3-H125-Tr100		100	3.12	28.43	242.48
S3-H125-Tr30		30	3.14	28.28	239.99
S3-H125-Tr10		10	3.11	27.99	234.98
S3-H150-Tr300	1.50	300	3.24	30.16	272.83
S3-H150-Tr100		100	3.39	29.81	266.53
S3-H150-Tr30		30	3.45	29.61	263.05
S3-H150-Tr10		10	3.50	29.25	256.64

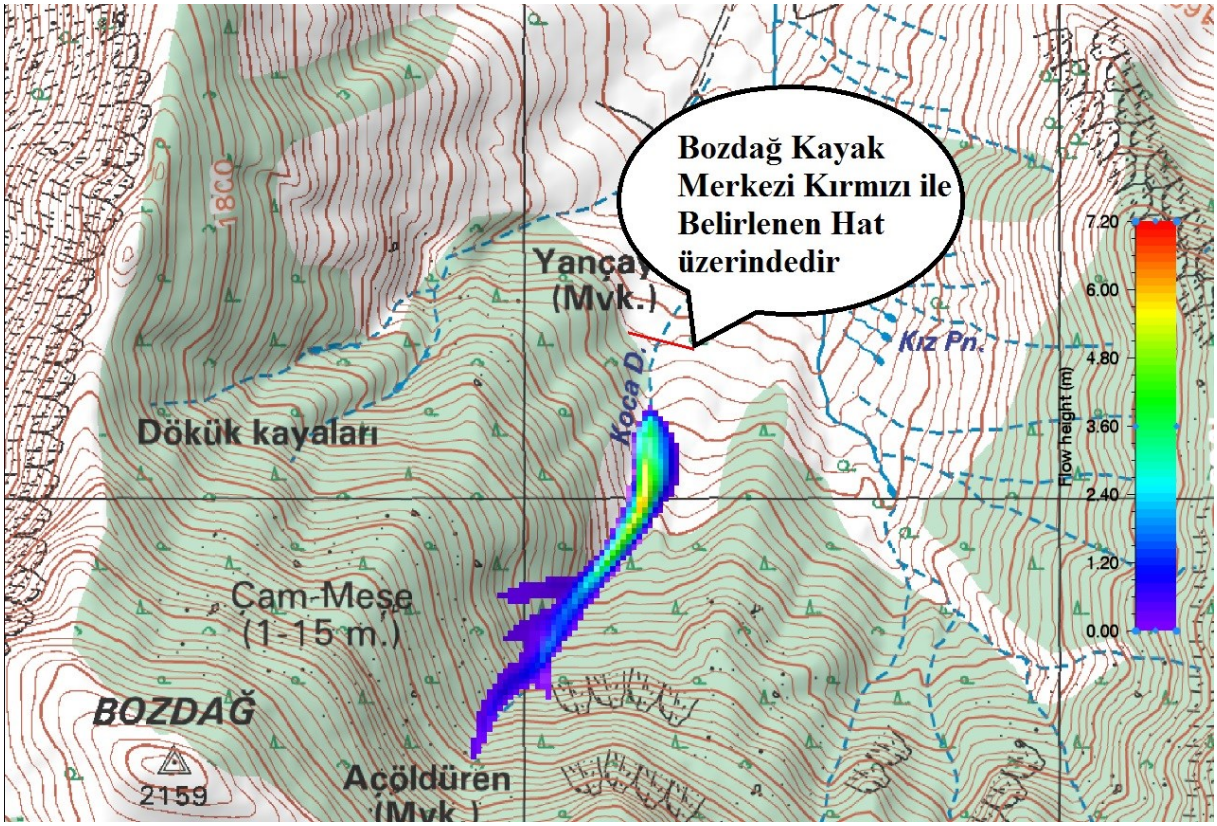
Senaryolarda Sonuçların Anlık İncelenmesi

Bozdağ Kayak Merkezi'nin olası bir çığ durumunda karşılaşabileceği tehlike senaryoları için RAMMS programı ile elde edilen *anlık* sonuçlar aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur. İlk olarak Kayak Merkezi'nin koordinatları Google Earth programından elde edilmiş (Şekil 124) ve bu koordinatlar RAMMS programında girilerek bir hat boyunca ölçümler alınmıştır.



Şekil 124. Bozdağ Kayak Merkezi Google Görüntüsü ve Koordinatları

Elde edilen bu koordinatlar doğrultusunda Kayak Merkezi, RAMMS programında kırmızı renk ile çizilen bir doğru parçası ile ifade edilmiştir (Şekil 125). Aynı şekil üzerinde Bozdağ Kayak Merkezi üzerine gelebilecek bir çığ örnek olarak gösterilmiştir. İncelenen çığ parametreleri çığ yüksekliği, çığ hızı ve çığ basıncı olarak belirlenmiş ve bu parametrelerin zamanla değişimi belirli aralıklarla alınan sonuçlarla ifade edilmiştir.



Şekil 125. Bozdağ Kayak Merkezi üzerinden alınan kesitin gösterimi

Senaryo 2 için yapılan simülasyon çalışmasında, zamana bağlı olarak çığ yüksekliği, çığ hızı ve çığ basıncı parametreleri anlık olarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler anlık zamanlarda farklı parametrelerde elde edildiği için sonuçların daha kolay takip edilebilmesi amacıyla Tablo 19'da gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır. Tablo hazırlanırken yapılan sınıflandırmalar, çığ kopma derinliğini ve ele alınan çığ parametresi durumunu yansıtacak şekilde belirlenmiştir. Senaryodaki simülasyonlar altı farklı zamanda incelenmiştir. Örneğin H50_H1 sınıflandırması, h=50cm çığ kopma derinliğine sahip çığın oluşturduğu, Tablo 19'da birinci kolonda verilen zamandaki çığ yüksekliği parametresinin değerlerini temsil etmektedir. Aynı şekilde H50_V1 sınıflandırması ise h=50cm çığ kopma derinliğine sahip çığın oluşturduğu, Tablo 19'da birinci kolonda verilen aynı zaman için çığ hızı parametresinin değerlerini temsil etmektedir. Farklı bir zaman dilimi için benzer durum şu şekilde açıklanabilir; H75_V2 sınıflandırması h=75cm çığ

kopma derinliğine sahip çığın oluşturduğu, Tablo 19'da birinci kolonda ilgili zaman için hız parametresinin değerlerini temsil etmektedir.

Tablo 19. Senaryo2'ye ait girdi verileri ve anlık çıktıların sınıflandırılması

Senaryo 2 Tr=300 yıl				
Zaman(sn)	**Çığ Yüksekliği(m)**	**Çığ Hızı (m/sn)**	**Çığ Basıncı (kPa)**	**Kopma Derinliği (cm)**
36.1	H50_H1	H50_V1	H50_P1	h=50
42	H50_H2	H50_V2	H50_P2	
48.1	H50_H3	H50_V3	H50_P3	
60.2	H50_H4	H50_V4	H50_P4	
72.2	H50_H5	H50_V5	H50_P5	
80.1	H50_H6	H50_V6	H50_P6	
32	H75_H1	H75_V1	H75_P1	h=75
38.1	H75_H2	H75_V2	H75_P2	
44	H75_H3	H75_V3	H75_P3	
50.1	H75_H4	H75_V4	H75_P4	
68	H75_H5	H75_V5	H75_P5	
82.2	H75_H6	H75_V6	H75_P6	

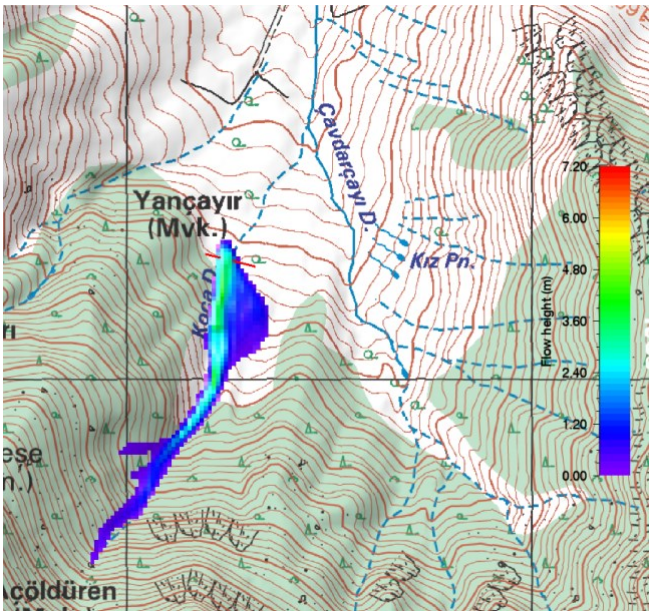
Simülasyon sonucunda toplanan veriler belirli zaman aralıkları dahilinde çığın düşmesini modelleyen görüntü (Şekil 126), veri alınan kesitin grafiği ve grafikten elde edilen okumalar (Şekil 127) olarak sunulmaktadır.

Şekil 126'da çığın patika boyunca düşmesini ifade eden görüntü herhangi bir anda alınarak burada örnek bir şekil olarak verilmiştir. Şekil üzerinde farklı renklerle belirtilen özellik çığ

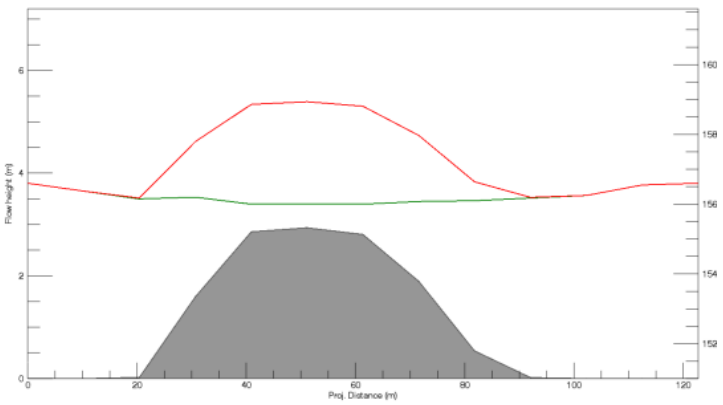
yüksekliğidir. Şeklin sağ tarafında verilen lejantta çığ yüksekliği değişimi de renklere göre ifade edilmiştir.

Şekil 127'de, verilerin değerlendirildiği kesite ait çığ yüksekliğinin kesit boyunca değişimini ifade edilmektedir. Bu kesit Bozdağ Kayak Merkezi üzerindedir ve çığın yaklaşık 122 metre genişliğinde bir hat boyunca incelenmiştir. Şekil 127'de çığ yüksekliği farklı gösterimlerle grafik üzerinde elde edilmiştir. Ayrıca grafikte ifade edilen çığ ile ilgili bilgiler şeklin sağ tarafında sayısal olarak da verilmektedir. Üç kolon halinde ifade edilen bu bilgilerden birinci kolon kesitin sol kanattan itibaren yatay mesafesini, ikinci kolon arazinin sayısal modelinden elde edilen denizden olan seviye ve üçüncü kolon ise çığın yüksekliğini göstermektedir. Bu şekil çığın hız ve basınç değişimi için de benzer olarak elde edilebilmektedir. Bu durumda değişken çığ yüksekliği yerine çığ hızı veya basıncı olmaktadır.

Şekil 127'de veri listesinin 2. kolonunda yer alan veriler arazinin yükseklik modelinin genişliğe göre değişimini vermekte olup kesit görüntüsünde yeşil renk ile çizilmiştir. Bu değerler grafiğin sağ düşey ekseninden okunabilmektedir. Veri listesinin 3. kolonunda sunulan bilgiler, incelenen duruma göre değişmekle birlikte (örneğin çığ yüksekliği, çığ hızı, çığ basıncı) Şekil 127'de çığ yüksekliğini temsil etmektedir. Bu kolonda verilen sayısal değerler grafikte "gri taralı alan" olarak gösterilmekte ve sol düşey eksenden okunabilmektedir. Kesit görüntüsünde (Şekil 127) kırmızı çizgi ile çığ yüksekliğinin gerçek arazi üzerindeki değişimi ifade edilmiştir. Kırmızı çizgi ile ifade edilen bu değer sadece görsel açıdan kesit boyunca değişimi ifade etmekte olup grafik üzerinden bir sayısal okuma yapılmamaktadır.



Şekil 126. Çığ simülasyon görüntüsünden bir an



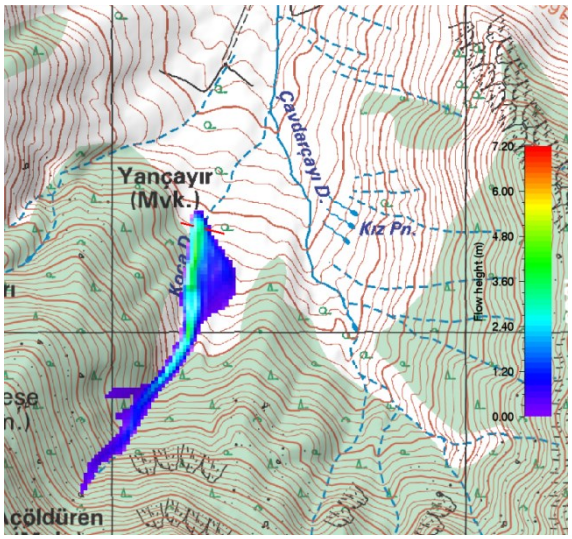
RAMMS Profile Data

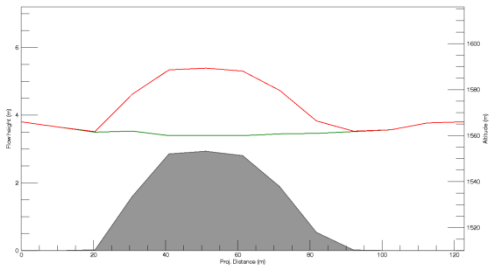
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.00000(
10.2471	1563.75	7.21451e-00
20.4337	1561.50	0.024025
30.6808	1562.00	1.5931
40.9280	1560.00	2.8593(
51.1145	1560.00	2.93681
61.3617	1560.00	2.8071
71.6088	1560.75	1.8923(
81.7953	1561.00	0.54047
92.0425	1561.75	0.020091
102.290	1562.50	0.00010708
112.476	1565.50	2.40920e-00
122.723	1566.00	0.00000(

Şekil 127. Çalışılan kesitin grafiği ve grafikten elde edilen okumalar

Senaryo 2 çığ patikasında RAMMS programı kullanılarak gerçekleştirilen anlık analiz sonuçları Şekil 128- Şekil 139 arasında gösterilmiştir. Bu sonuçlarda belirli aralıklarla çığ yüksekliği, hızı ve basıncı anlık olarak görülebilmektedir.



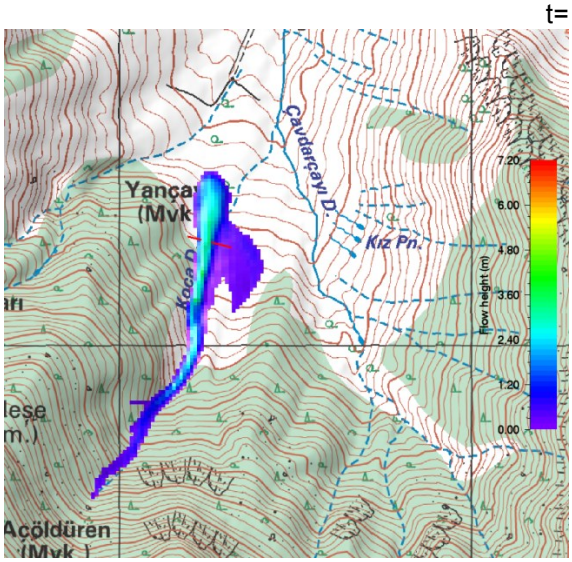


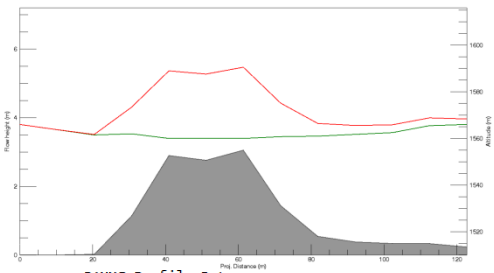
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	7.21451e-005
20.4337	1561.50	0.0240255
30.6808	1562.00	1.59312
40.9280	1560.00	2.85930
51.1145	1560.00	2.93681
61.3617	1560.00	2.80715
71.6088	1560.75	1.89230
81.7953	1561.00	0.540478
92.0425	1561.75	0.0200916
102.290	1562.50	0.000107084
112.476	1565.50	2.40920e-006
122.723	1566.00	0.000000

t= 36.1



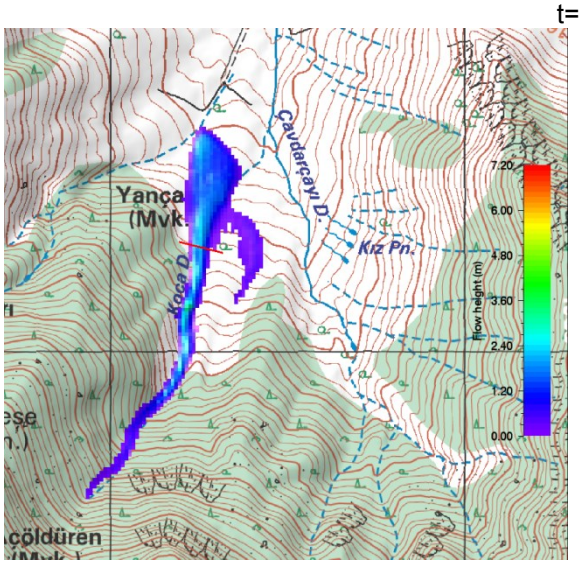


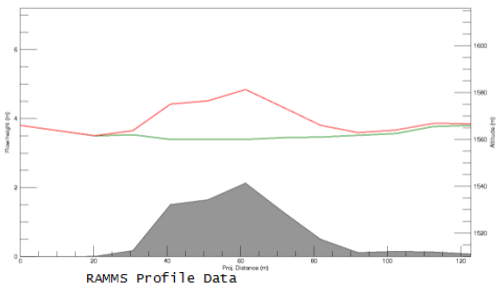
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	1.19140e-005
10.2471	1563.75	0.00141632
20.4337	1561.50	0.0214321
30.6808	1562.00	1.14053
40.9280	1560.00	2.89860
51.1145	1560.00	2.76077
61.3617	1560.00	3.05522
71.6088	1560.75	1.44016
81.7953	1561.00	0.543801
92.0425	1561.75	0.381941
102.290	1562.50	0.336477
112.476	1565.50	0.333257
122.723	1566.00	0.234571

t= 42





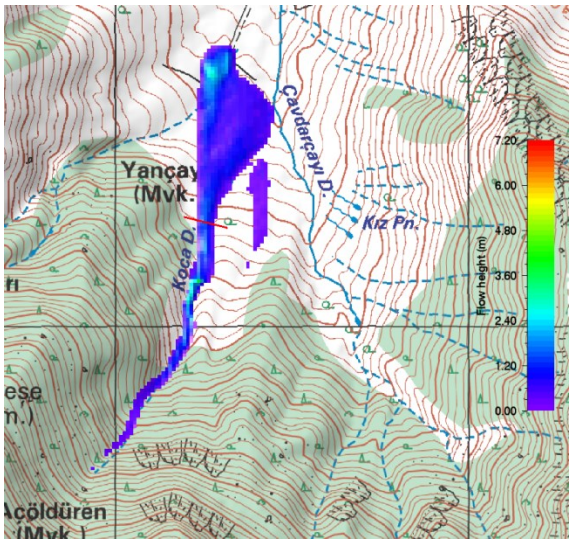
RAMMS Profile Data

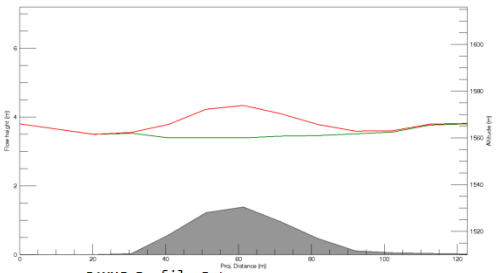
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	1.13235e-005
10.2471	1563.75	0.000726402
20.4337	1561.50	0.00696038
30.6808	1562.00	0.175073
40.9280	1560.00	1.50728
51.1145	1560.00	1.64655
61.3617	1560.00	2.12974
71.6088	1560.75	1.29532
81.7953	1561.00	0.503718
92.0425	1561.75	0.113568
102.290	1562.50	0.150445
112.476	1565.50	0.132550
122.723	1566.00	0.0745304

t=48.1

Şekil 128. H50_H1-H2-H3 için kesit analizleri



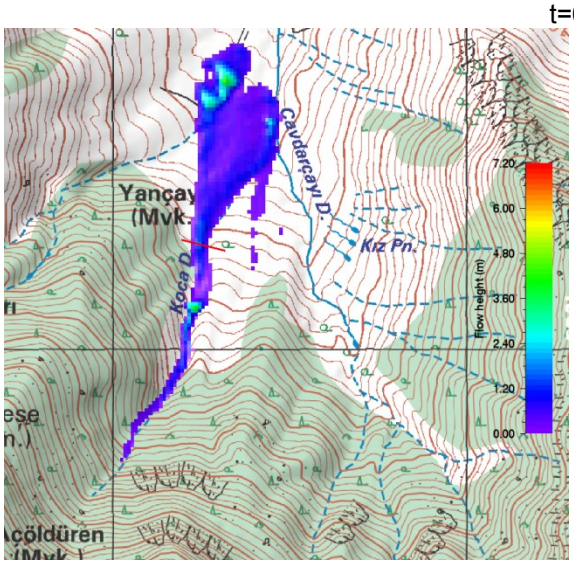


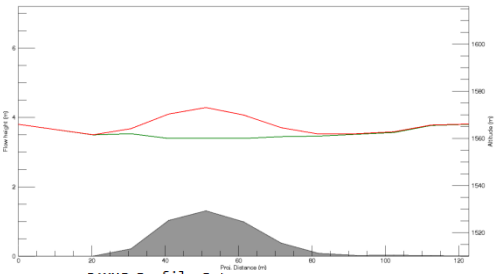
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	1.01301e-005
10.2471	1563.75	0.000338878
20.4337	1561.50	0.00235004
30.6808	1562.00	0.0343771
40.9280	1560.00	0.584030
51.1145	1560.00	1.22567
61.3617	1560.00	1.38836
71.6088	1560.75	0.959547
81.7953	1561.00	0.472903
92.0425	1561.75	0.114667
102.290	1562.50	0.0579509
112.476	1565.50	0.0389911
122.723	1566.00	0.0218701

t=60.2



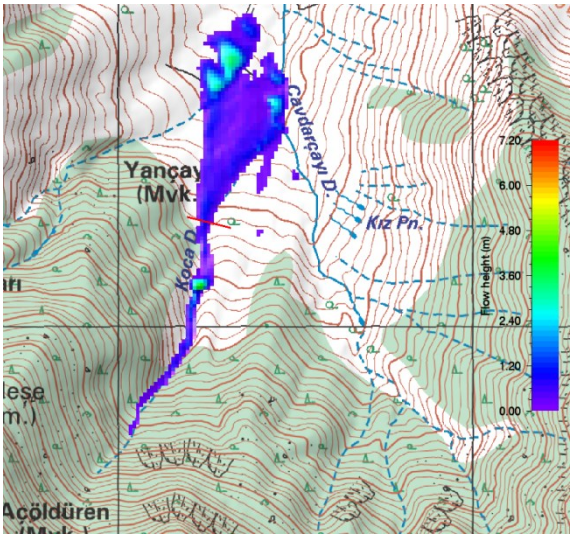


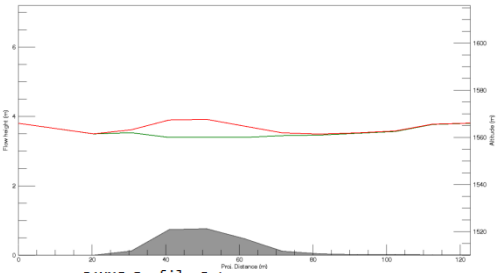
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	1.01942e-005
10.2471	1563.75	0.000198804
20.4337	1561.50	0.00531682
30.6808	1562.00	0.214384
40.9280	1560.00	1.03251
51.1145	1560.00	1.31134
61.3617	1560.00	0.994374
71.6088	1560.75	0.381698
81.7953	1561.00	0.0854915
92.0425	1561.75	0.0238007
102.290	1562.50	0.0317152
112.476	1565.50	0.0188829
122.723	1566.00	0.0106257

t=72.2





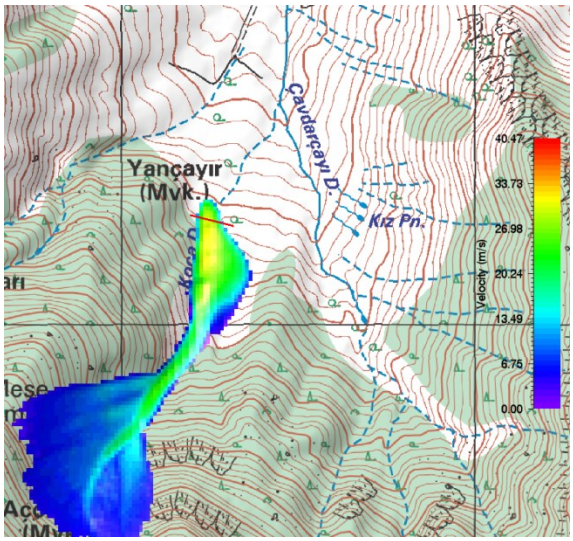
RAMMS Profile Data

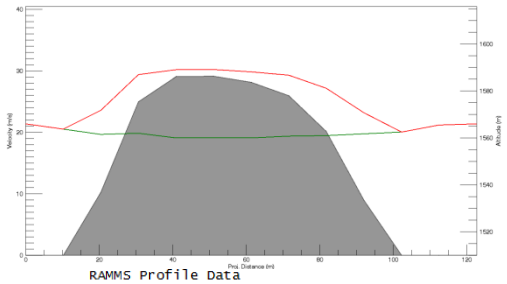
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	1.05475e-005
10.2471	1563.75	0.000195655
20.4337	1561.50	0.00141068
30.6808	1562.00	0.125120
40.9280	1560.00	0.740340
51.1145	1560.00	0.766961
61.3617	1560.00	0.480231
71.6088	1560.75	0.119812
81.7953	1561.00	0.0419716
92.0425	1561.75	0.0183822
102.290	1562.50	0.0224350
112.476	1565.50	0.0130548
122.723	1566.00	0.00733229

t=80.1

Şekil 129. H50_H4-H5-H6 için kesit analizleri



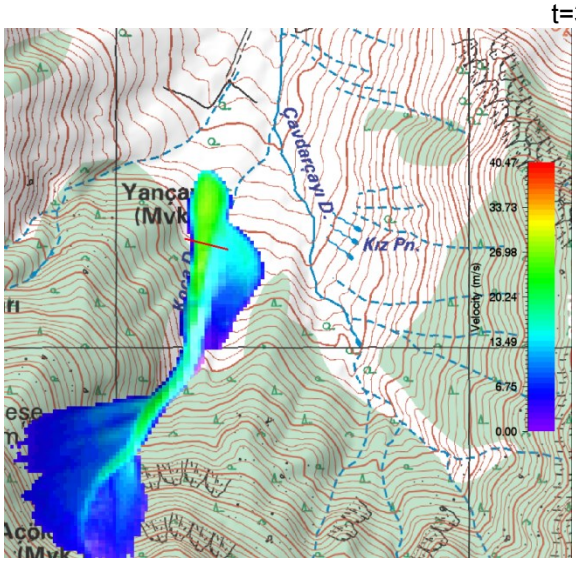


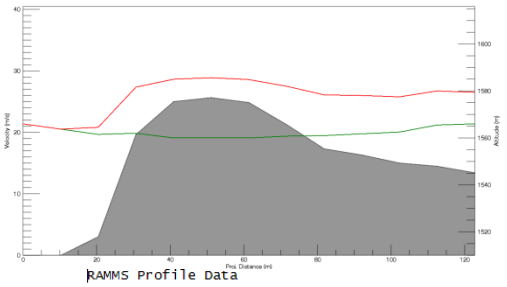
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	10.2358
30.6808	1562.00	24.9789
40.9280	1560.00	29.0654
51.1145	1560.00	29.1355
61.3617	1560.00	28.1428
71.6088	1560.75	25.9628
81.7953	1561.00	20.1447
92.0425	1561.75	8.96091
102.290	1562.50	0.000000
112.476	1565.50	0.000000
122.723	1566.00	0.000000

t=36.1



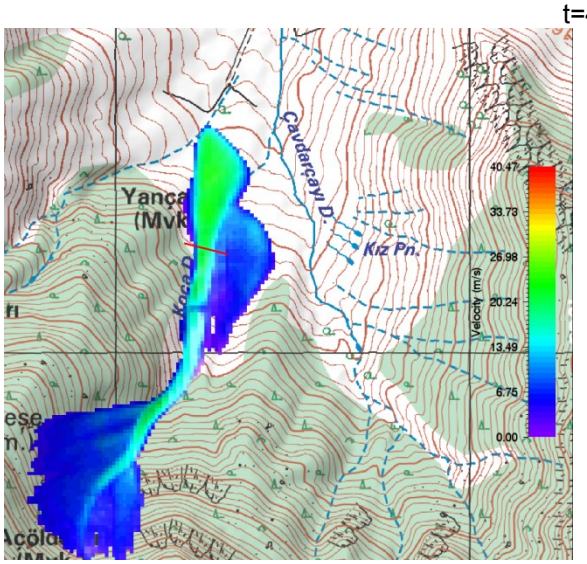


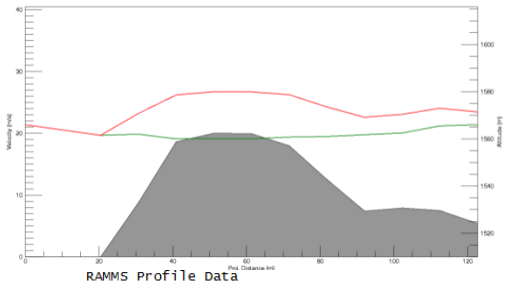
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	3.02238
30.6808	1562.00	19.6526
40.9280	1560.00	25.0060
51.1145	1560.00	25.6495
61.3617	1560.00	24.8507
71.6088	1560.75	21.2635
81.7953	1561.00	17.3275
92.0425	1561.75	16.3240
102.290	1562.50	15.0081
112.476	1565.50	14.4918
122.723	1566.00	13.4334

t=42





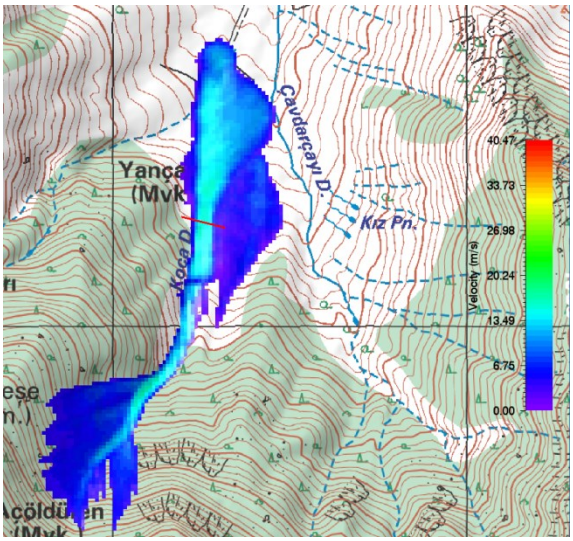
RAMMS Profile Data

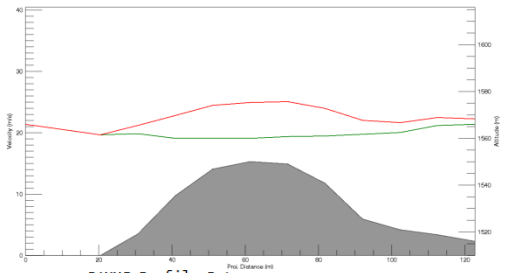
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	8.75993
40.9280	1560.00	18.6173
51.1145	1560.00	20.0012
61.3617	1560.00	19.9402
71.6088	1560.75	17.9796
81.7953	1561.00	12.5468
92.0425	1561.75	7.40540
102.290	1562.50	7.89655
112.476	1565.50	7.49513
122.723	1566.00	5.39195

t=48.1

Şekil 130. H50_V1-V2-V3 için kesit analizleri



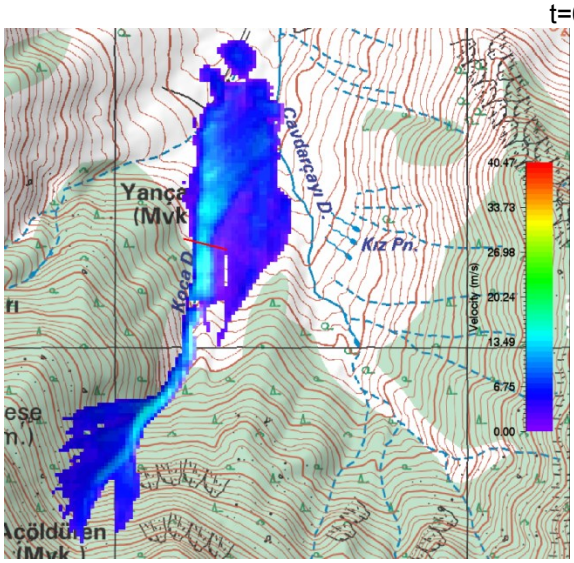


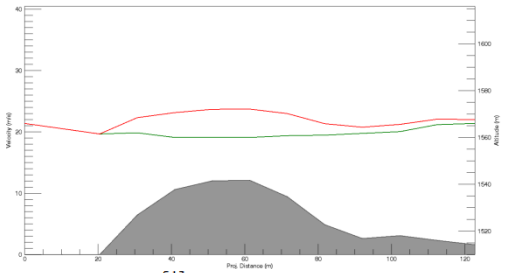
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	3.51269
40.9280	1560.00	9.76053
51.1145	1560.00	14.0930
61.3617	1560.00	15.3066
71.6088	1560.75	14.9172
81.7953	1561.00	11.7724
92.0425	1561.75	5.94491
102.290	1562.50	4.19595
112.476	1565.50	3.38920
122.723	1566.00	2.31223

t=60.2



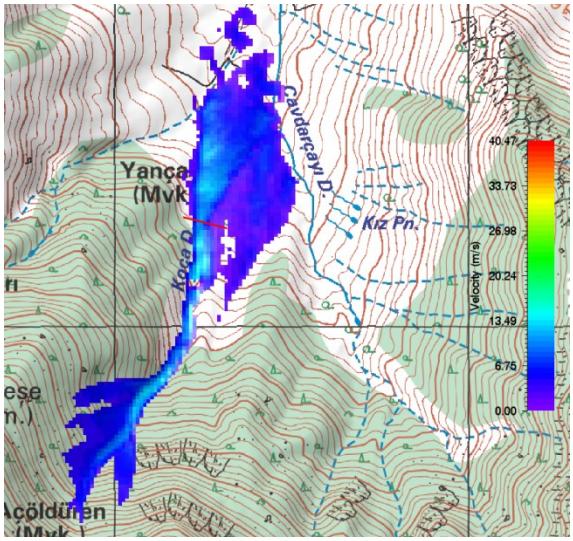


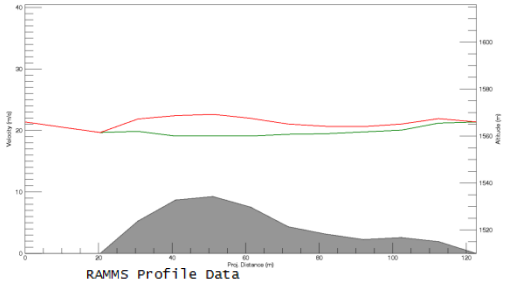
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	6.45608
40.9280	1560.00	10.6122
51.1145	1560.00	12.0268
61.3617	1560.00	12.1212
71.6088	1560.75	9.43888
81.7953	1561.00	4.88391
92.0425	1561.75	2.63074
102.290	1562.50	3.09456
112.476	1565.50	2.32063
122.723	1566.00	1.61981

t=72.2





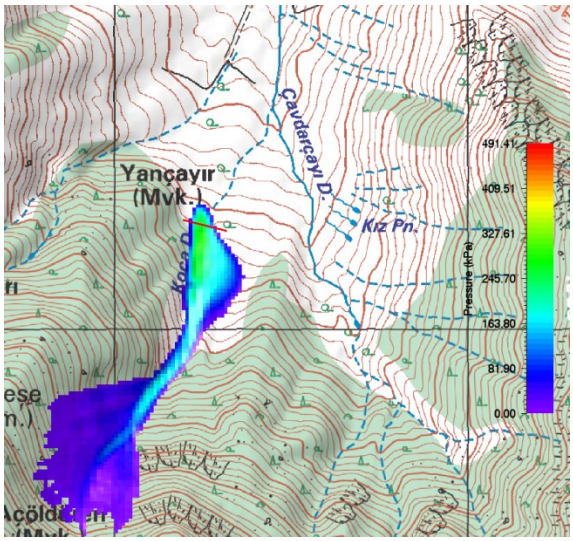
RAMMS Profile Data

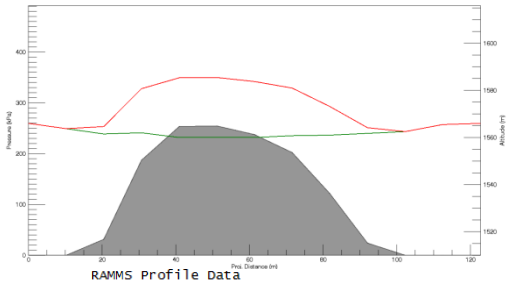
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	5.26707
40.9280	1560.00	8.69633
51.1145	1560.00	9.26544
61.3617	1560.00	7.53987
71.6088	1560.75	4.34567
81.7953	1561.00	3.15411
92.0425	1561.75	2.27070
102.290	1562.50	2.58894
112.476	1565.50	1.93229
122.723	1566.00	0.000000

t=80.1

Şekil 131. H50_V4-V5-V6 için kesit analizleri



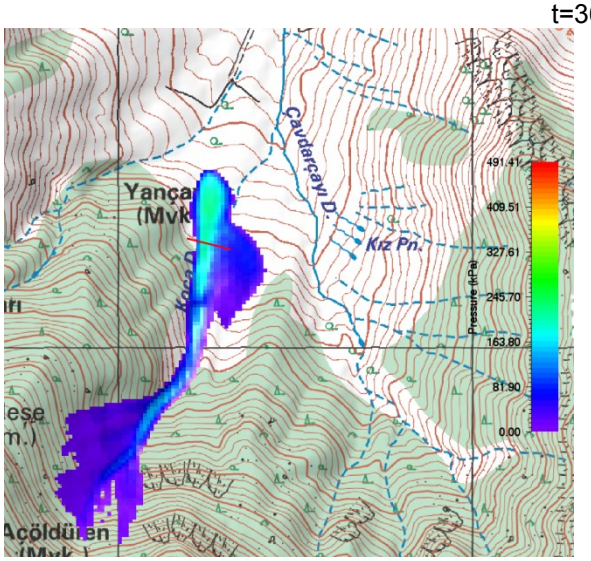


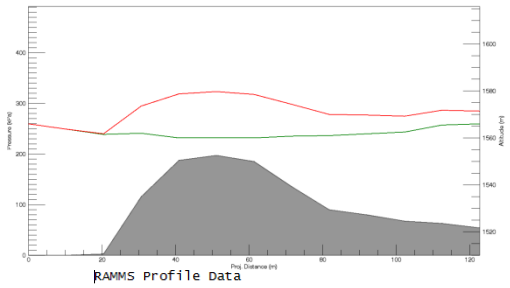
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	31.4313
30.6808	1562.00	187.184
40.9280	1560.00	253.439
51.1145	1560.00	254.663
61.3617	1560.00	237.606
71.6088	1560.75	202.221
81.7953	1561.00	121.743
92.0425	1561.75	24.0894
102.290	1562.50	0.000000
112.476	1565.50	0.000000
122.723	1566.00	0.000000

t=36.1



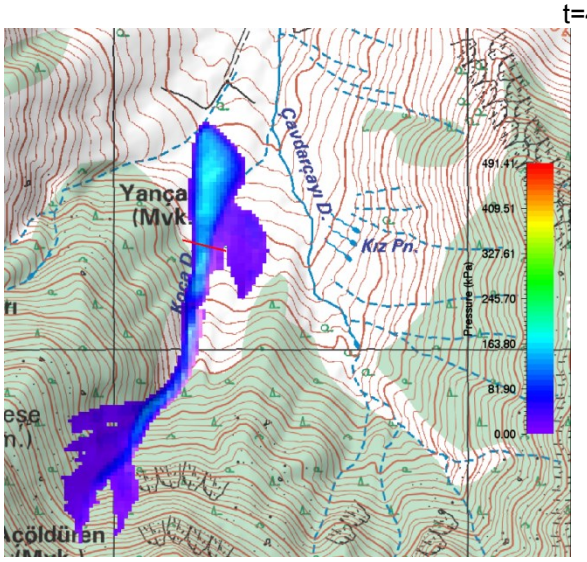


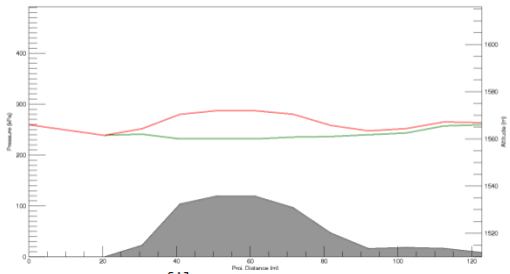
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	2.74044
30.6808	1562.00	115.867
40.9280	1560.00	187.590
51.1145	1560.00	197.369
61.3617	1560.00	185.267
71.6088	1560.75	135.641
81.7953	1561.00	90.0727
92.0425	1561.75	79.9415
102.290	1562.50	67.5732
112.476	1565.50	63.0035
122.723	1566.00	54.1369

t=42





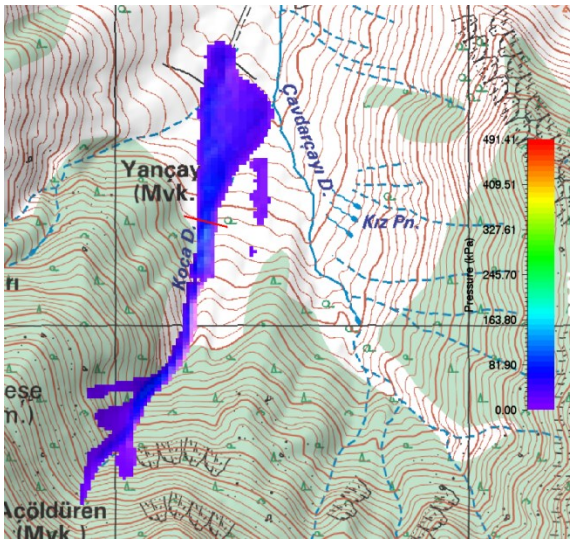
RAMMS Profile Data

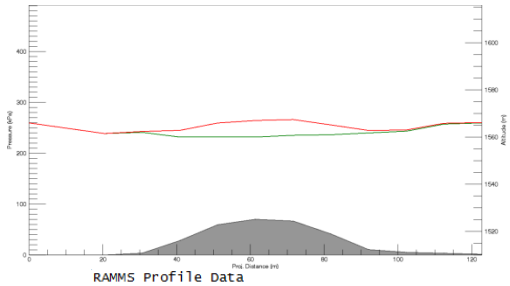
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	23.0209
40.9280	1560.00	103.982
51.1145	1560.00	120.014
61.3617	1560.00	119.283
71.6088	1560.75	96.9801
81.7953	1561.00	47.2265
92.0425	1561.75	16.4520
102.290	1562.50	18.7066
112.476	1565.50	16.8531
122.723	1566.00	8.72193

t=48.1

Şekil 132. H50_P1-P2-P3 için kesit analizleri



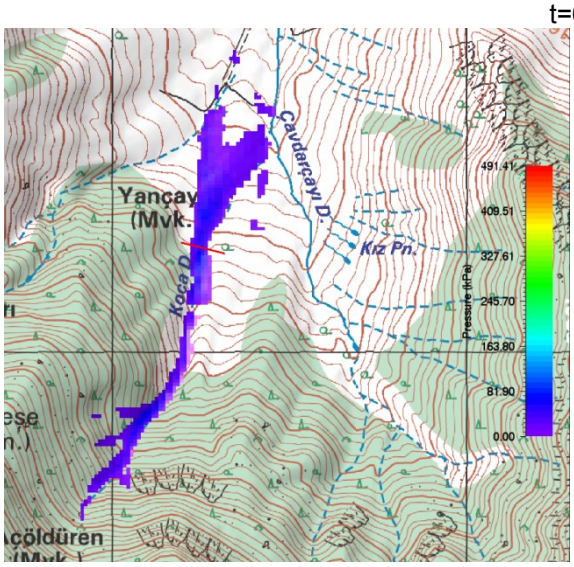


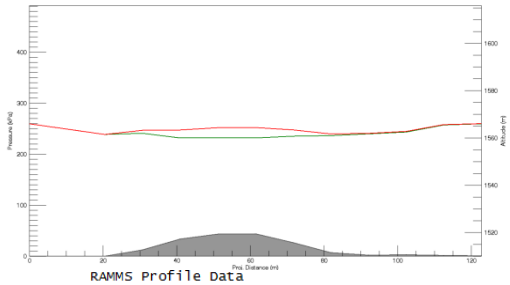
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	3.70169
40.9280	1560.00	28.5804
51.1145	1560.00	59.5837
61.3617	1560.00	70.2878
71.6088	1560.75	66.7572
81.7953	1561.00	41.5767
92.0425	1561.75	10.6026
102.290	1562.50	5.28180
112.476	1565.50	3.44600
122.723	1566.00	1.60392

t=60.2



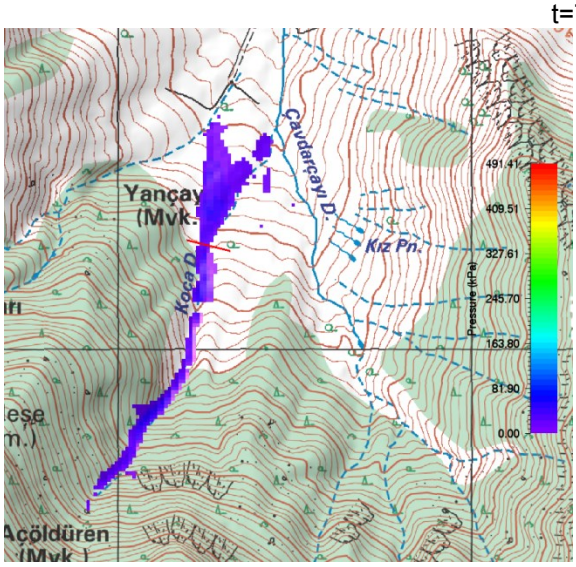


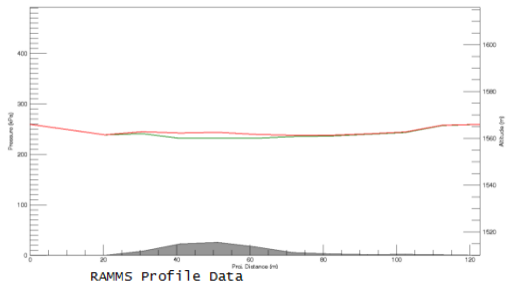
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	12.5043
40.9280	1560.00	33.7853
51.1145	1560.00	43.3934
61.3617	1560.00	44.0773
71.6088	1560.75	26.7277
81.7953	1561.00	7.15576
92.0425	1561.75	2.07624
102.290	1562.50	2.87289
112.476	1565.50	1.61559
122.723	1566.00	0.787133

t=72.2





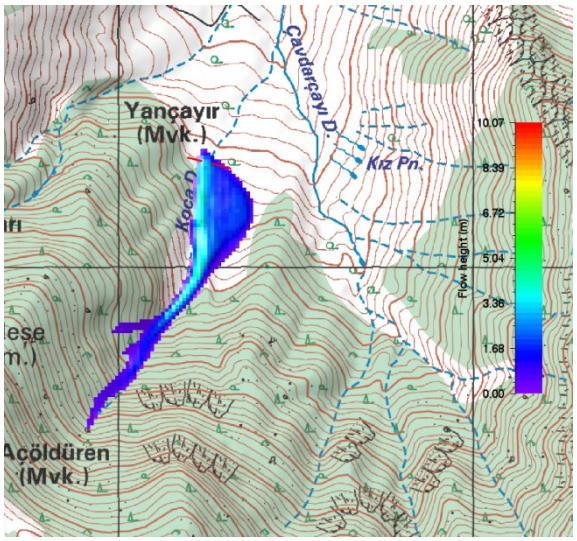
RAMMS Profile Data

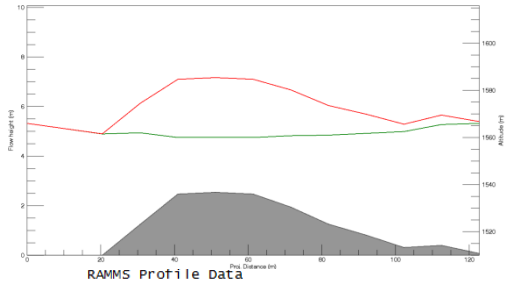
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	8.32261
40.9280	1560.00	22.6878
51.1145	1560.00	25.7545
61.3617	1560.00	17.0549
71.6088	1560.75	5.66546
81.7953	1561.00	2.98452
92.0425	1561.75	1.54683
102.290	1562.50	2.01078
112.476	1565.50	1.12012
122.723	1566.00	0.000000

t=80.1

Şekil 133. H50_P4-P5-P6 için kesit analizleri



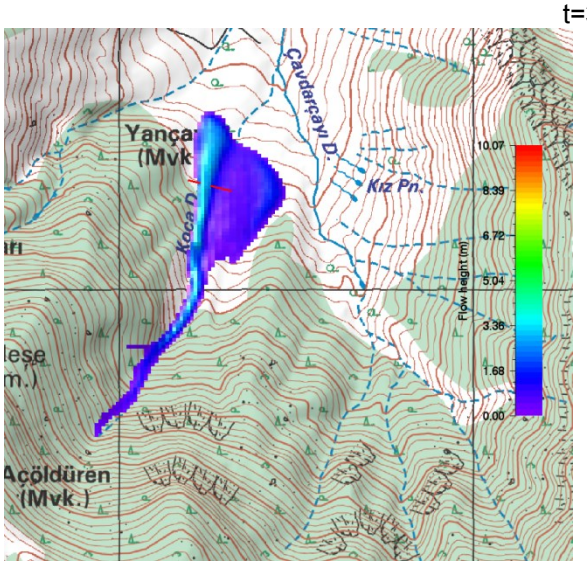


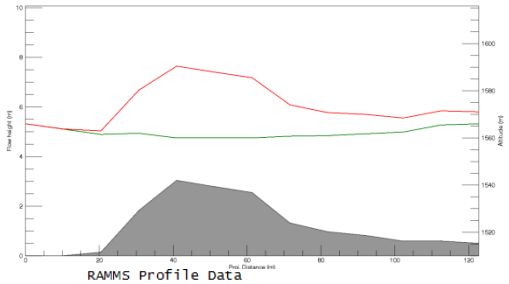
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	1.21240e-005
20.4337	1561.50	0.00490983
30.6808	1562.00	1.24781
40.9280	1560.00	2.47111
51.1145	1560.00	2.54182
61.3617	1560.00	2.47239
71.6088	1560.75	1.94390
81.7953	1561.00	1.25763
92.0425	1561.75	0.814804
102.290	1562.50	0.314659
112.476	1565.50	0.401585
122.723	1566.00	0.0754923

t=32



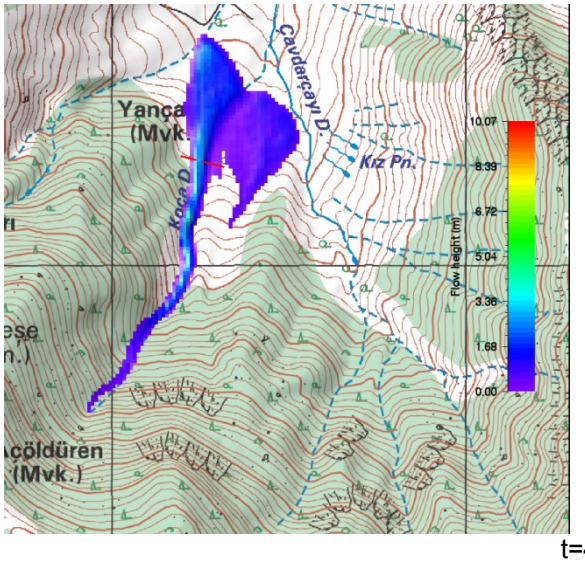


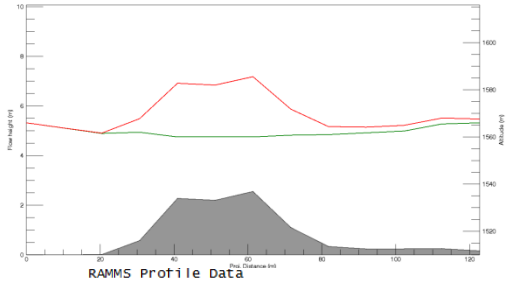
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000196559
10.2471	1563.75	0.00691831
20.4337	1561.50	0.149798
30.6808	1562.00	1.82650
40.9280	1560.00	3.04573
51.1145	1560.00	2.79316
61.3617	1560.00	2.55326
71.6088	1560.75	1.32707
81.7953	1561.00	0.974943
92.0425	1561.75	0.824709
102.290	1562.50	0.595399
112.476	1565.50	0.600281
122.723	1566.00	0.507455

t=38.1





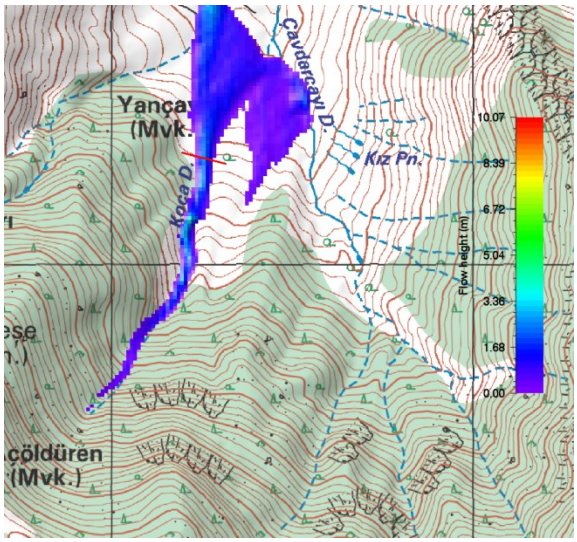
RAMMS Profile Data

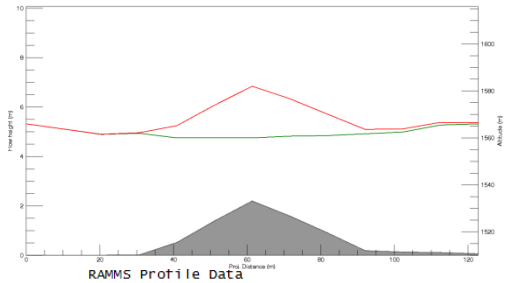
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000147123
10.2471	1563.75	0.00216555
20.4337	1561.50	0.0131303
30.6808	1562.00	0.576691
40.9280	1560.00	2.27619
51.1145	1560.00	2.19995
61.3617	1560.00	2.55542
71.6088	1560.75	1.10404
81.7953	1561.00	0.339549
92.0425	1561.75	0.239951
102.290	1562.50	0.243003
112.476	1565.50	0.250209
122.723	1566.00	0.161773

t=44

Şekil 134. H75_H1-H2-H3 için kesit analizleri



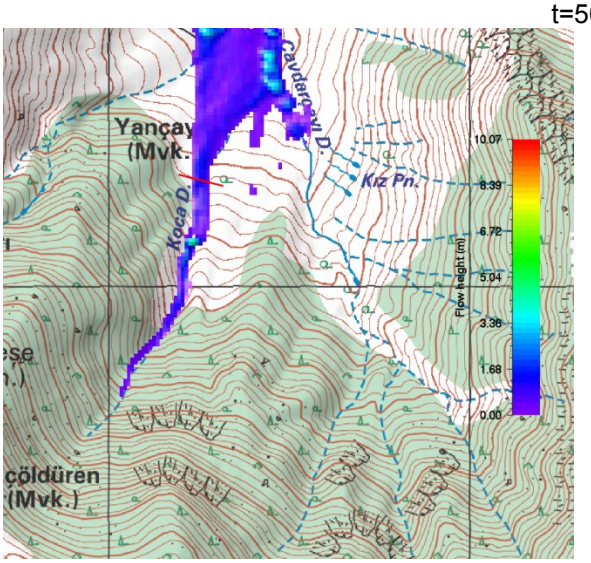


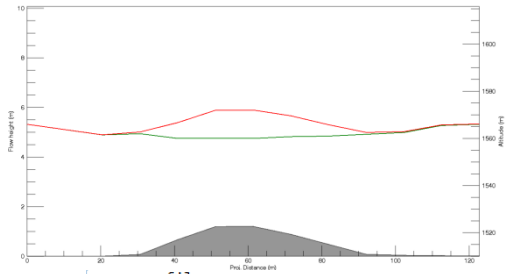
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000114651
10.2471	1563.75	0.00119042
20.4337	1561.50	0.00607040
30.6808	1562.00	0.0195909
40.9280	1560.00	0.523226
51.1145	1560.00	1.39305
61.3617	1560.00	2.20106
71.6088	1560.75	1.59294
81.7953	1561.00	0.915342
92.0425	1561.75	0.190454
102.290	1562.50	0.134770
112.476	1565.50	0.112468
122.723	1566.00	0.0630587

t=50.1



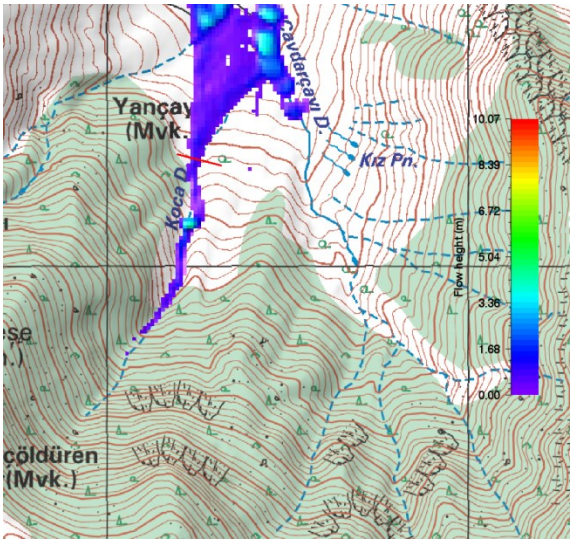


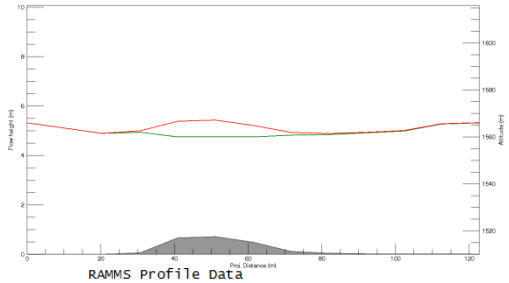
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000106276
10.2471	1563.75	0.000364453
20.4337	1561.50	0.00222177
30.6808	1562.00	0.0733439
40.9280	1560.00	0.673221
51.1145	1560.00	1.19466
61.3617	1560.00	1.20436
71.6088	1560.75	0.883967
81.7953	1561.00	0.482333
92.0425	1561.75	0.0794718
102.290	1562.50	0.0376684
112.476	1565.50	0.0235548
122.723	1566.00	0.0135877

t=68





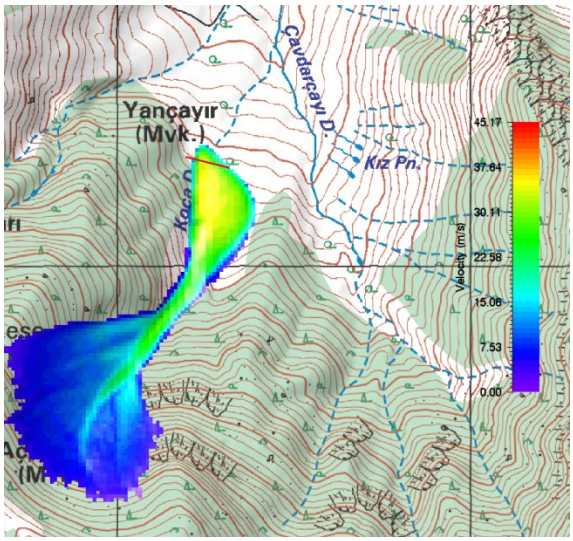
RAMMS Profile Data

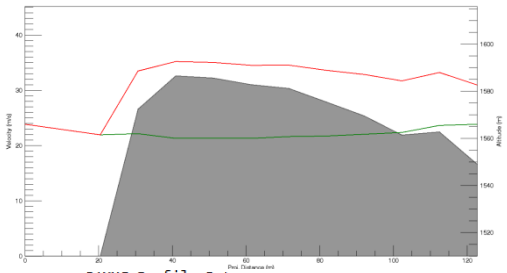
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Flow height (m)

0.000000	1566.00	0.000106982
10.2471	1563.75	0.000202333
20.4337	1561.50	0.00147646
30.6808	1562.00	0.0612137
40.9280	1560.00	0.667033
51.1145	1560.00	0.716010
61.3617	1560.00	0.490055
71.6088	1560.75	0.120319
81.7953	1561.00	0.0440599
92.0425	1561.75	0.0213242
102.290	1562.50	0.0211690
112.476	1565.50	0.0118049
122.723	1566.00	0.00674919

t=82.2

Şekil 135. H75_H4-H5-H6 için kesit analizleri



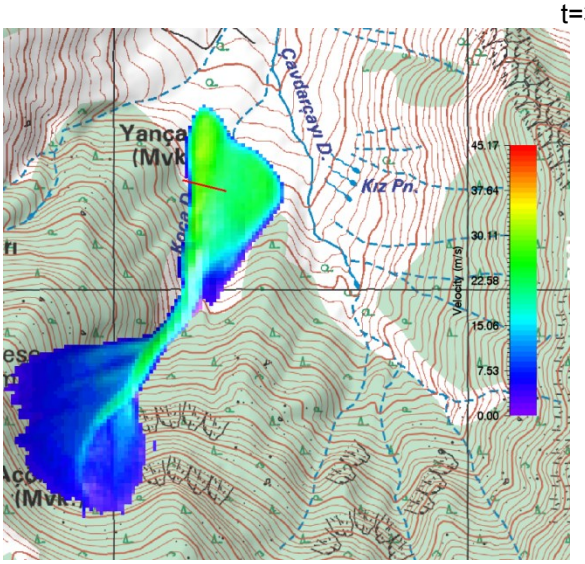


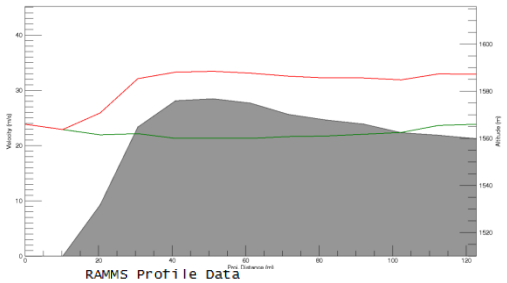
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	26.6002
40.9280	1560.00	32.6220
51.1145	1560.00	32.2261
61.3617	1560.00	31.0291
71.6088	1560.75	30.3442
81.7953	1561.00	27.8894
92.0425	1561.75	25.3819
102.290	1562.50	21.9130
112.476	1565.50	22.4768
122.723	1566.00	16.6326

t=32



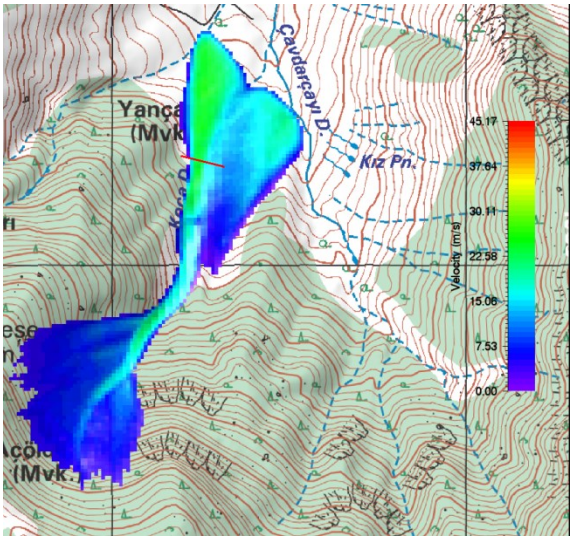


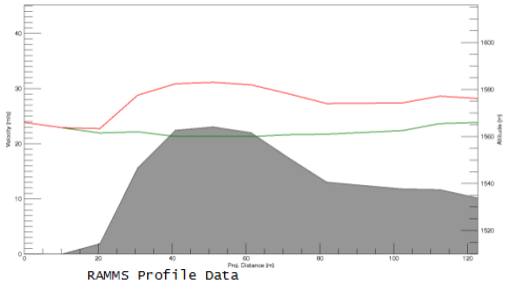
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	9.29062
30.6808	1562.00	23.3628
40.9280	1560.00	28.1165
51.1145	1560.00	28.4792
61.3617	1560.00	27.6823
71.6088	1560.75	25.6529
81.7953	1561.00	24.6430
92.0425	1561.75	23.9053
102.290	1562.50	22.3459
112.476	1565.50	21.8777
122.723	1566.00	21.2553

t=38.1





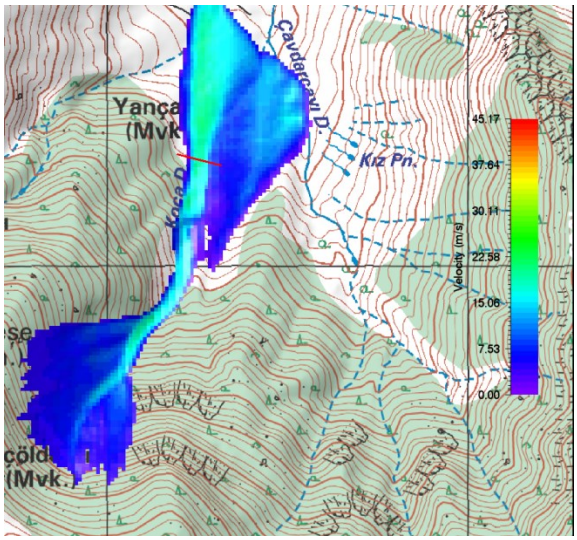
RAMMS Profile Data

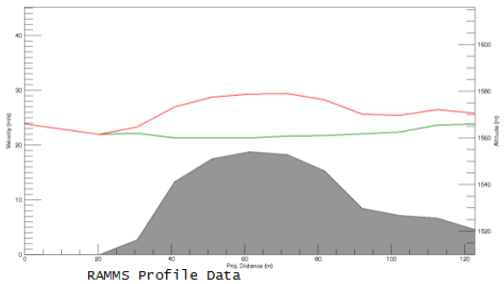
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	1.86209
30.6808	1562.00	15.5905
40.9280	1560.00	22.4498
51.1145	1560.00	23.0528
61.3617	1560.00	21.9965
71.6088	1560.75	17.3940
81.7953	1561.00	13.0362
92.0425	1561.75	12.4148
102.290	1562.50	11.8072
112.476	1565.50	11.6692
122.723	1566.00	10.1559

t=44

Şekil 136. H75_V1-V2-V3 için kesit analizleri



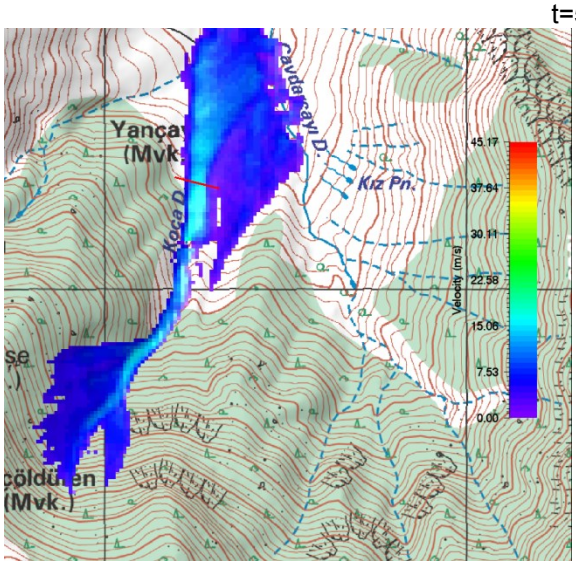


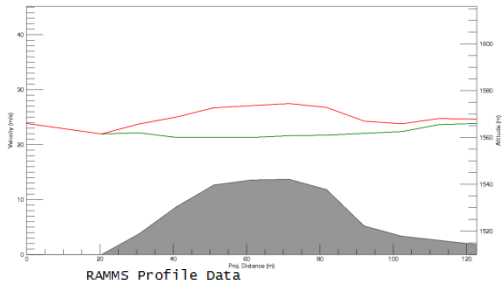
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	2.70098
40.9280	1560.00	13.3061
51.1145	1560.00	17.4926
61.3617	1560.00	18.7687
71.6088	1560.75	18.2588
81.7953	1561.00	15.2837
92.0425	1561.75	8.43351
102.290	1562.50	7.13992
112.476	1565.50	6.66753
122.723	1566.00	4.58526

t=50.1



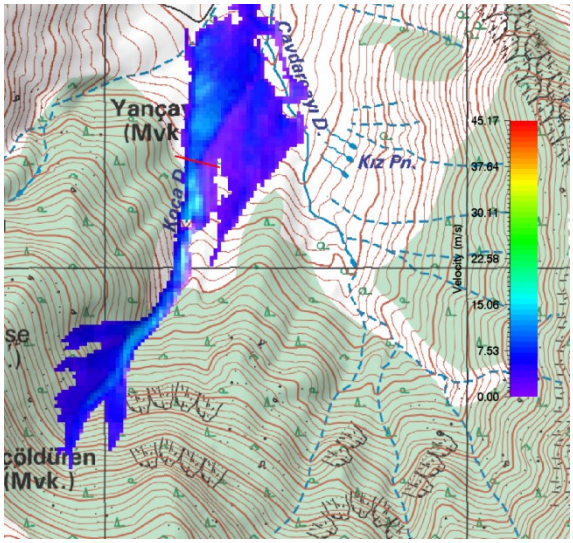


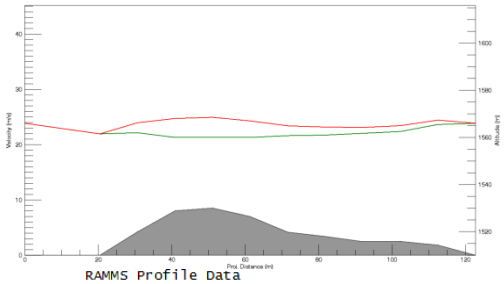
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	3.77451
40.9280	1560.00	8.73506
51.1145	1560.00	12.6856
61.3617	1560.00	13.5748
71.6088	1560.75	13.7086
81.7953	1561.00	11.8299
92.0425	1561.75	5.21962
102.290	1562.50	3.35404
112.476	1565.50	2.59719
122.723	1566.00	1.83024

t=68





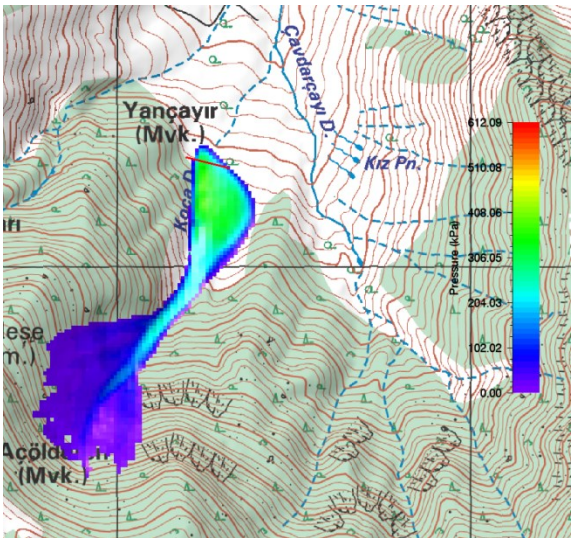
RAMMS Profile Data

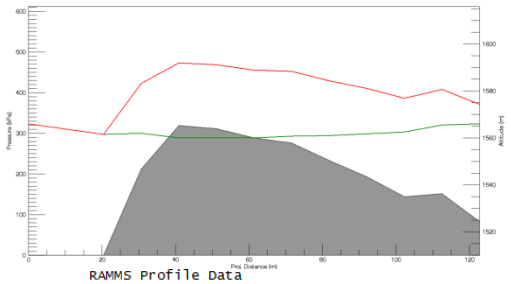
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	4.23587
40.9280	1560.00	8.04288
51.1145	1560.00	8.53719
61.3617	1560.00	7.00811
71.6088	1560.75	4.17986
81.7953	1561.00	3.40168
92.0425	1561.75	2.47294
102.290	1562.50	2.50558
112.476	1565.50	1.83789
122.723	1566.00	0.000000

t=82.2

Şekil 137. H75_V4-V5-V6 için kesit analizleri



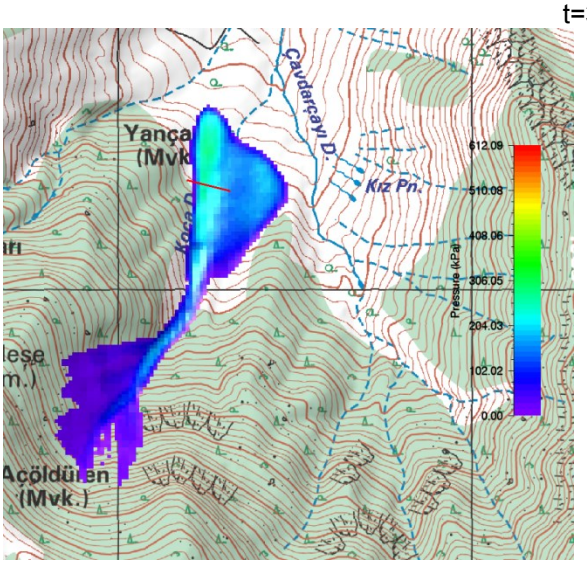


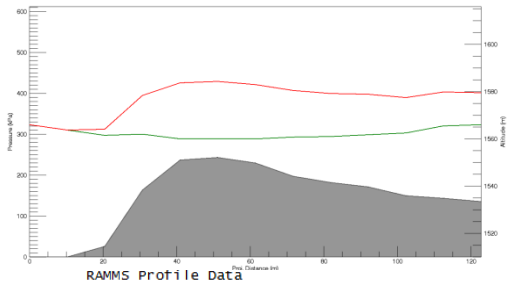
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	212.272
40.9280	1560.00	319.258
51.1145	1560.00	311.556
61.3617	1560.00	288.842
71.6088	1560.75	276.231
81.7953	1561.00	233.345
92.0425	1561.75	193.273
102.290	1562.50	144.054
112.476	1565.50	151.561
122.723	1566.00	82.9927

t=32



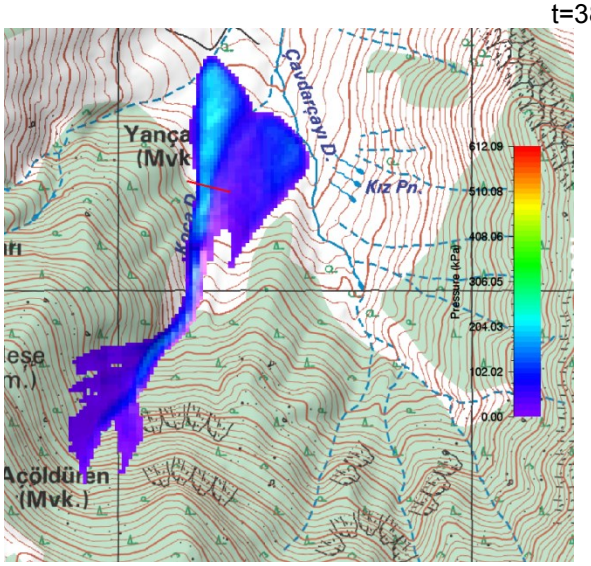


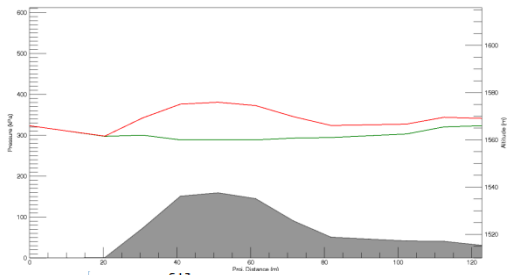
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	25.8947
30.6808	1562.00	163.746
40.9280	1560.00	237.160
51.1145	1560.00	243.319
61.3617	1560.00	229.893
71.6088	1560.75	197.422
81.7953	1561.00	182.183
92.0425	1561.75	171.439
102.290	1562.50	149.802
112.476	1565.50	143.590
122.723	1566.00	135.537

t=38.1





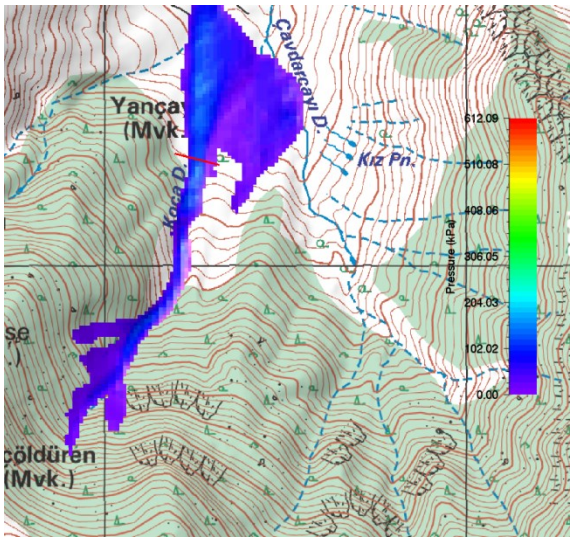
RAMMS Profile Data

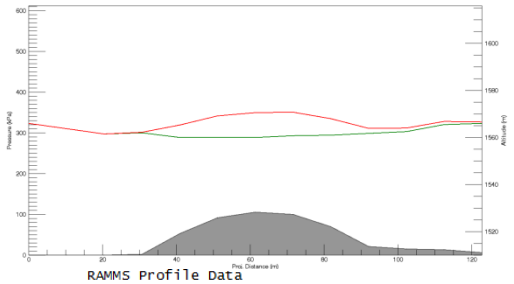
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	1.04022
30.6808	1562.00	72.9192
40.9280	1560.00	151.198
51.1145	1560.00	159.429
61.3617	1560.00	145.153
71.6088	1560.75	90.7651
81.7953	1561.00	50.9824
92.0425	1561.75	46.2385
102.290	1562.50	41.8231
112.476	1565.50	40.8508
122.723	1566.00	30.9430

t=44

Şekil 138. H75_P1-P2-P3 için kesit analizleri



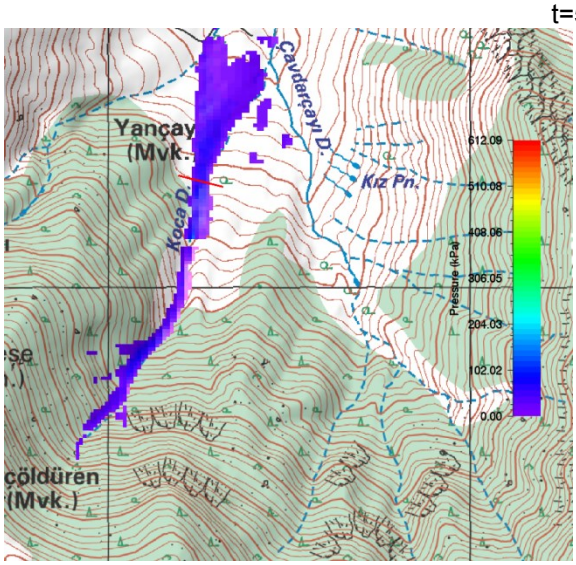


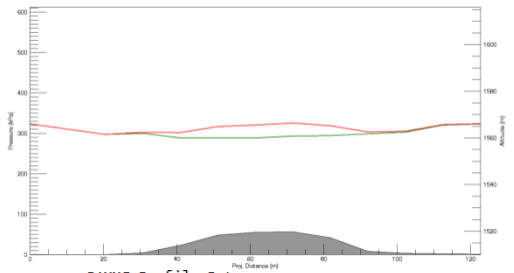
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	2.18859
40.9280	1560.00	53.1159
51.1145	1560.00	91.7972
61.3617	1560.00	105.679
71.6088	1560.75	100.015
81.7953	1561.00	70.0770
92.0425	1561.75	21.3372
102.290	1562.50	15.2935
112.476	1565.50	13.3368
122.723	1566.00	6.30739

t=50.1



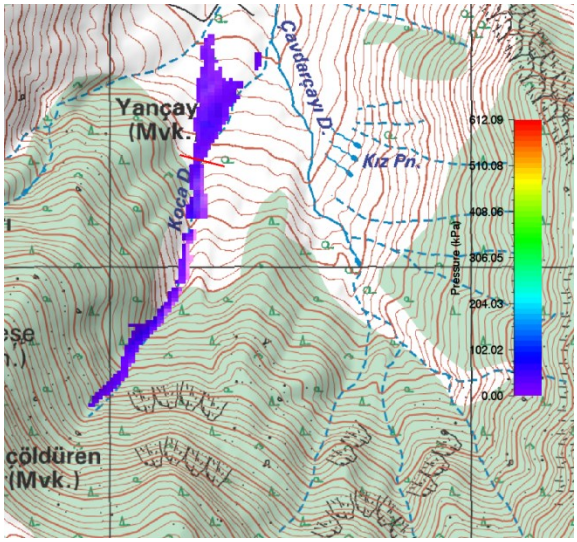


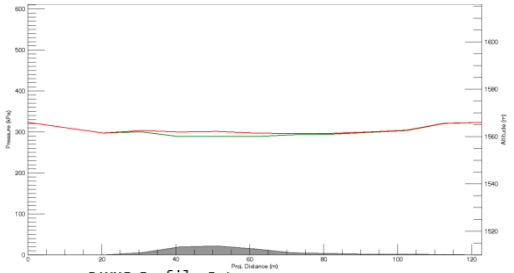
RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	4.27409
40.9280	1560.00	22.8904
51.1145	1560.00	48.2770
61.3617	1560.00	55.2828
71.6088	1560.75	56.3781
81.7953	1561.00	41.9841
92.0425	1561.75	8.17332
102.290	1562.50	3.37488
112.476	1565.50	2.02362
122.723	1566.00	1.00494

t=68





RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

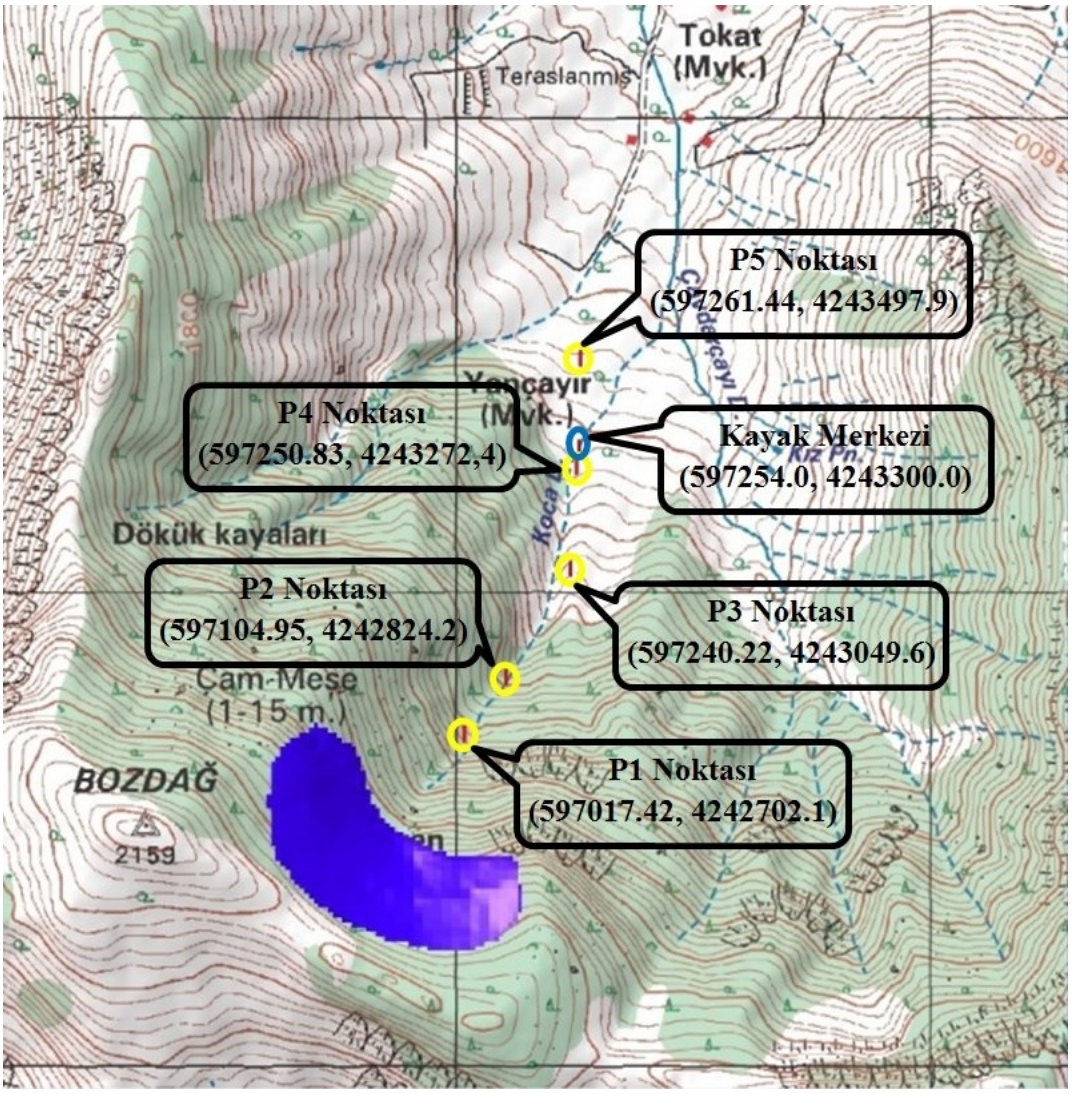
0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	5.38277
40.9280	1560.00	19.4064
51.1145	1560.00	21.8651
61.3617	1560.00	14.7341
71.6088	1560.75	5.24137
81.7953	1561.00	3.47143
92.0425	1561.75	1.83463
102.290	1562.50	1.88337
112.476	1565.50	1.01335
122.723	1566.00	0.000000

t=82.2

Şekil 139. H75_P4-P5-P6 için kesit analizleri

Noktasal Analiz

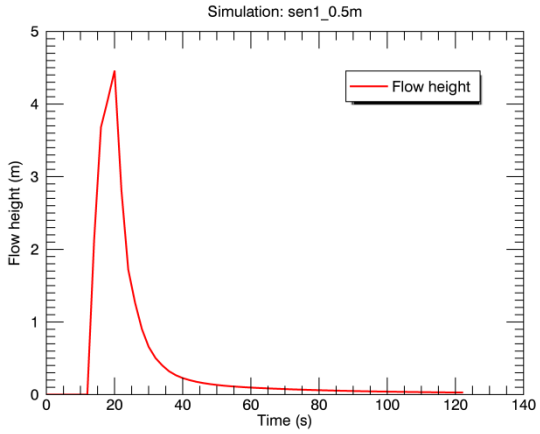
Bu kısımda RAMMS programının belirlenen alan için özel bir noktada elde edilen simülasyon sonuçlarının zamana göre değişiminin elde edilmesi açıklanacaktır. Çığın hareketi esnasında herhangi bir noktada kar yüksekliği, çığ hızı, çığ basıncı ve momentum parametreleri zamanla değişmektedir. Bu değişim RAMMS programı sayesinde bir nokta için elde edilebilmektedir. Bu analiz gerçekleştirilirken çığ kopma derinliğine bağlı olarak kar yüksekliği, çığ hızı, çığ basıncı ve momentum parametrelerinin değişiminin incelenebilmesi için çığ patikasında altı farklı nokta belirlenmiştir. Bunlardan beş tanesi çığ akma patikası üzerinde olup bir tanesi ise kayak merkezinin tam orta noktası alınarak seçilmiştir. Seçilen bu noktalar Şekil 140'da gösterilmektedir. Noktalar P1, P2, P3, P4, P5 ve KM (Kayak Merkezi) olarak isimlendirilmiş ve raporun geri kalan kısmında böyle tanımlanmıştır.



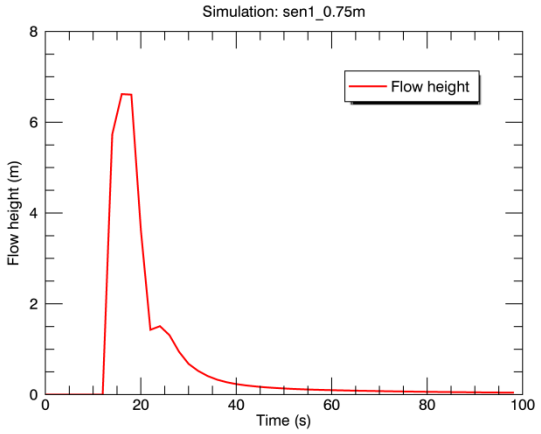
Şekil 140. Analiz Yapılan Noktaların Arazi Üzerindeki Yerleri

Bu bölümde tek bir noktada parametre değişimlerinin incelenmesi Şekil 93'te gösterilen 2 numaralı çığ hattı üzerinde gerçekleştirilen senaryo sonuçlarından elde edilerek sunulmuştur. Burada 2 numaralı çığ hattının seçilmesinin nedeni bu hat üzerinde kayak merkezi konaklama tesislerinin bulunmasıdır.

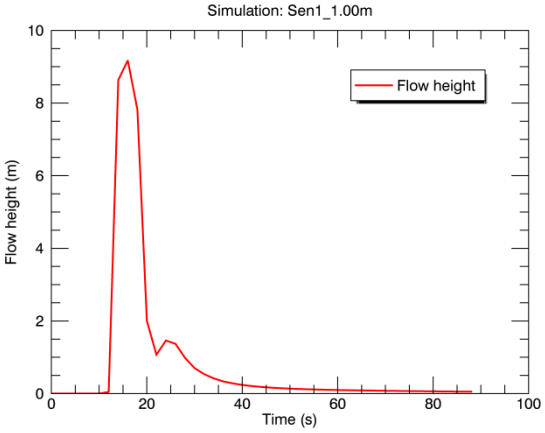
Yapılan bu analizlerde çığ kopma derinliğinin belirli bir noktada çığ yüksekliği, çığ hızı ve çığ basıncı gibi parametreler üzerindeki etkilerinin zamana bağlı değişimini görmek için h=0,5m, h=0,75m, h=1.00m, h=1.25 ve h=1.50m kopma derinliğine sahip çığların analizleri bir noktaya göre incelenmiştir (Şekil 141-Şekil 158).



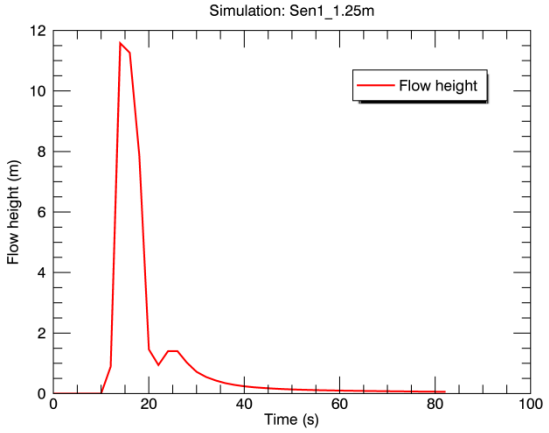
h=0.5 m



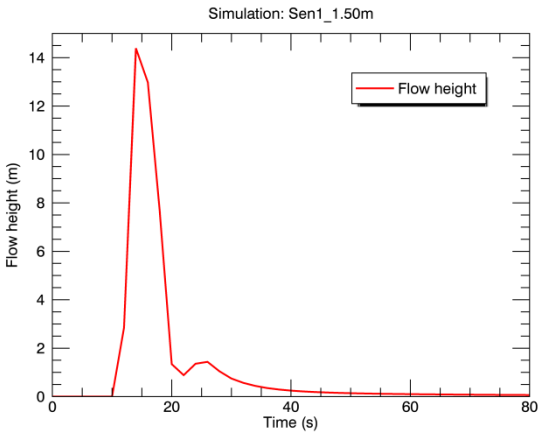
h=0.75m



h=1.00 m

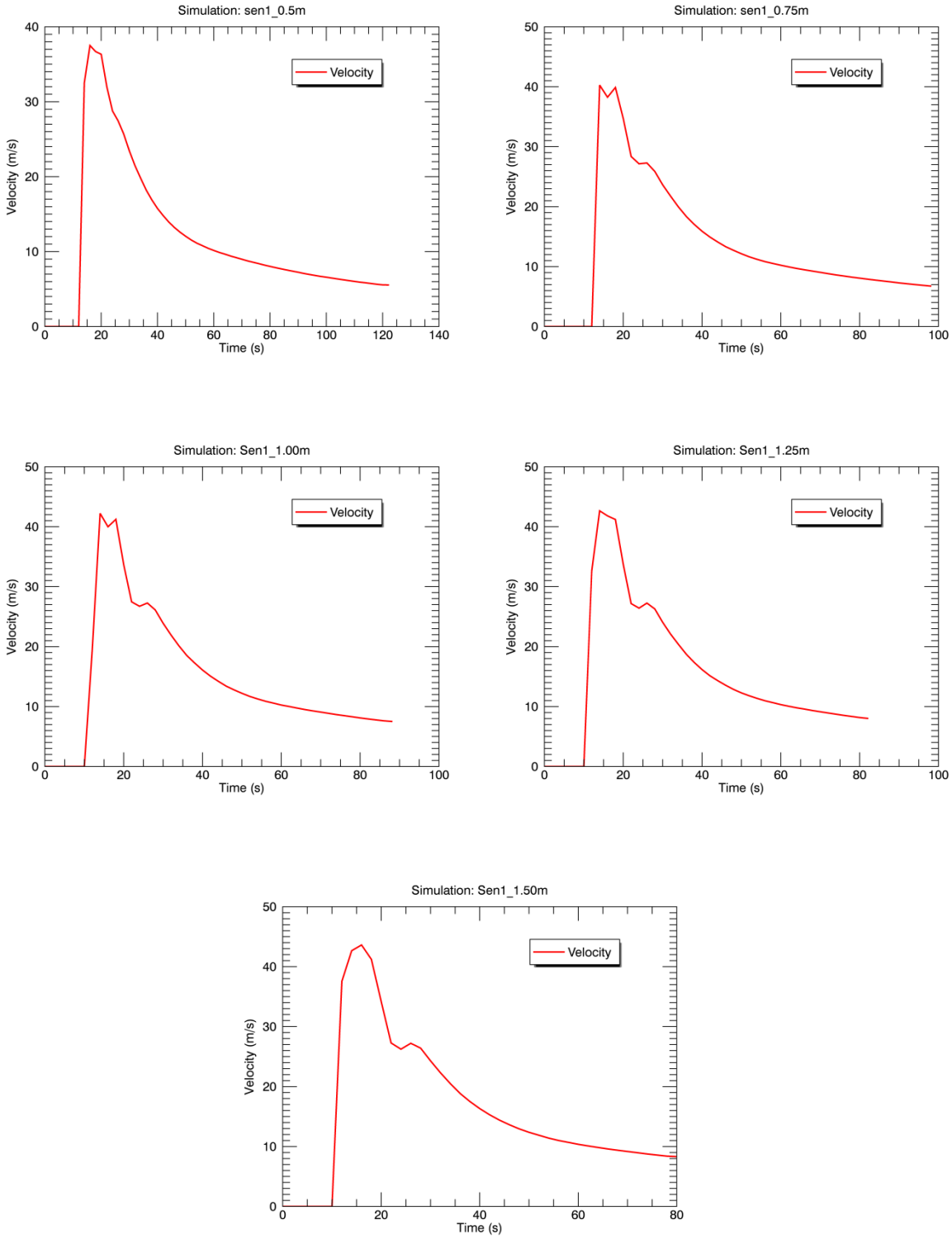


h=1.25 m

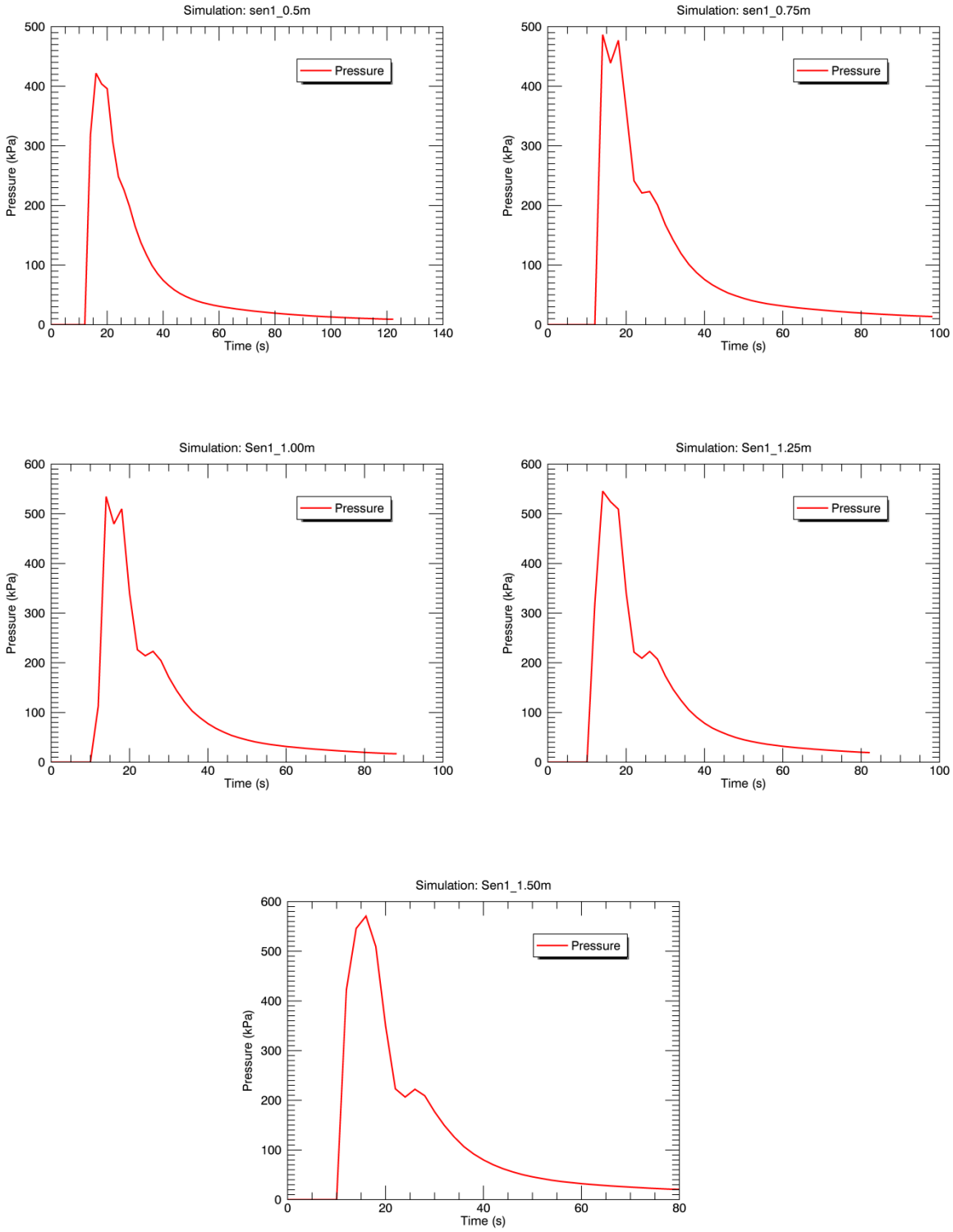


h=1.50 m

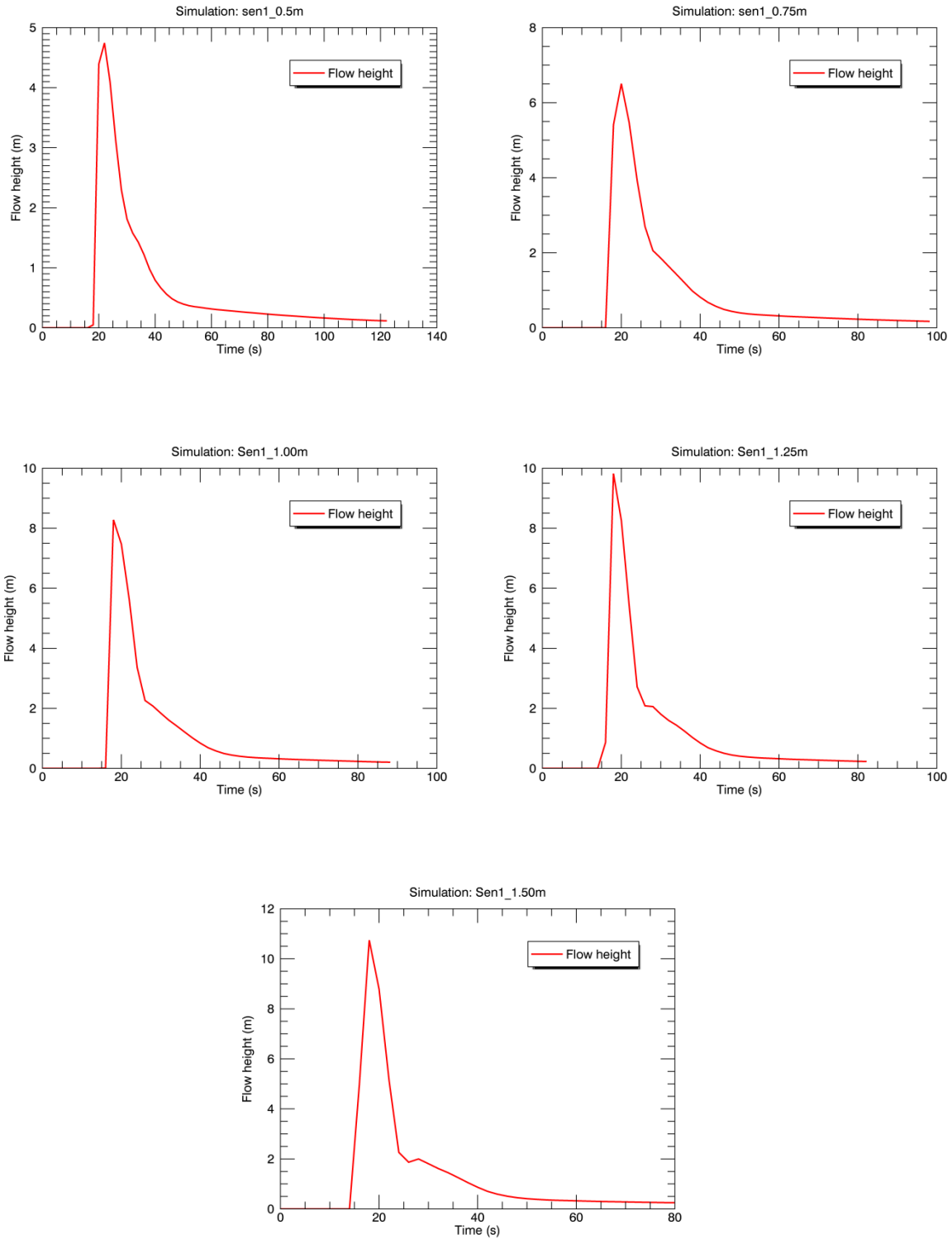
Şekil 141. P1 noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi



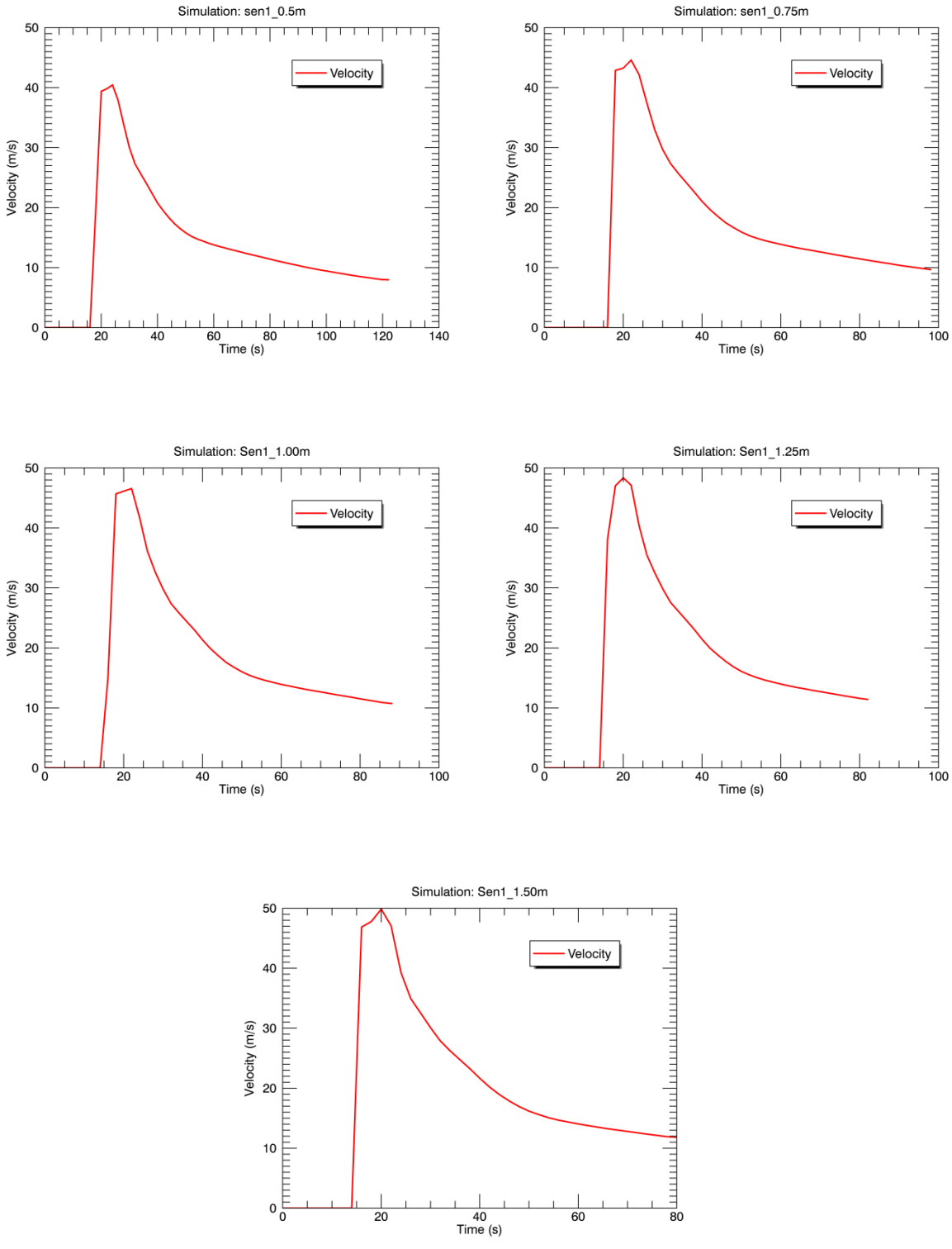
Şekil 142. P1 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi



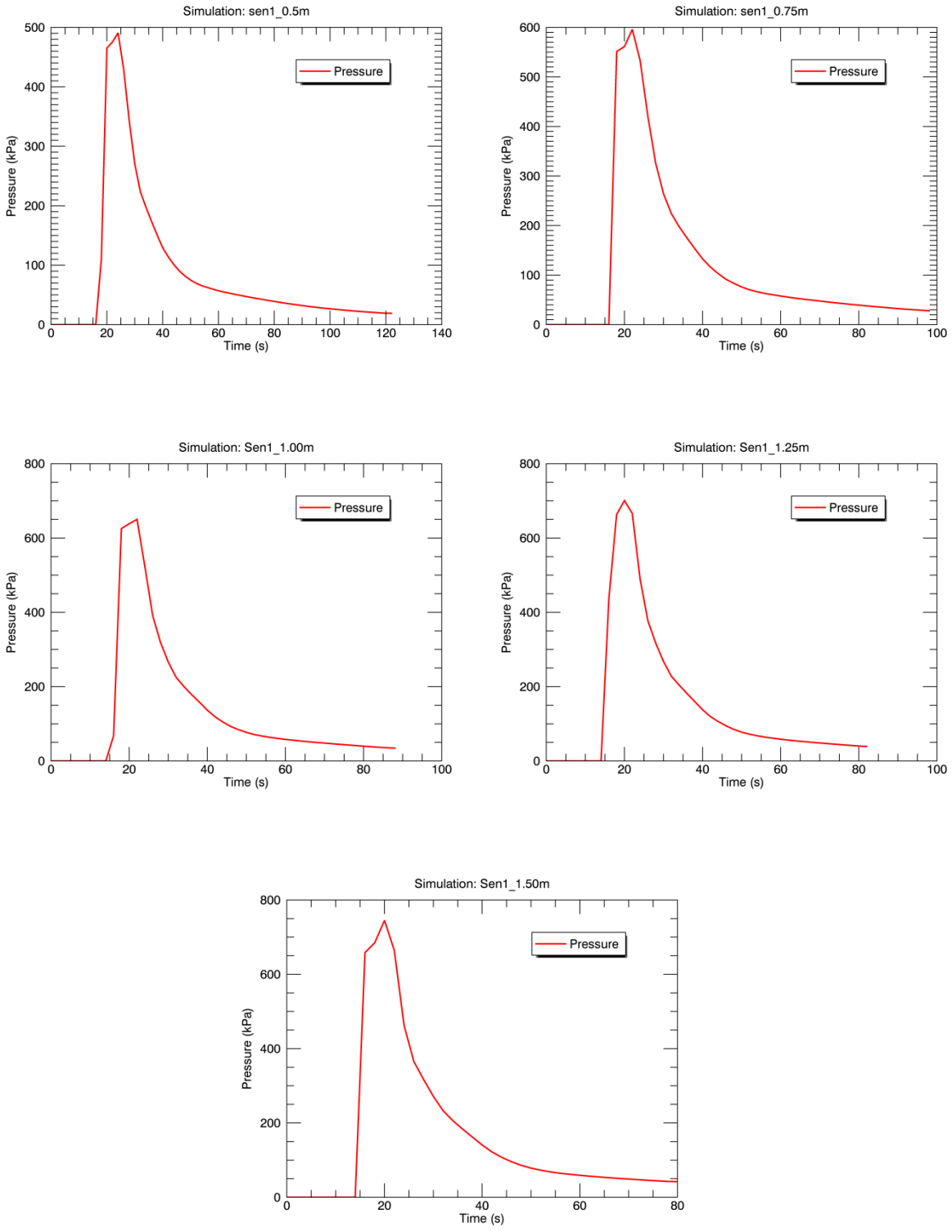
Şekil 143. P1 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi



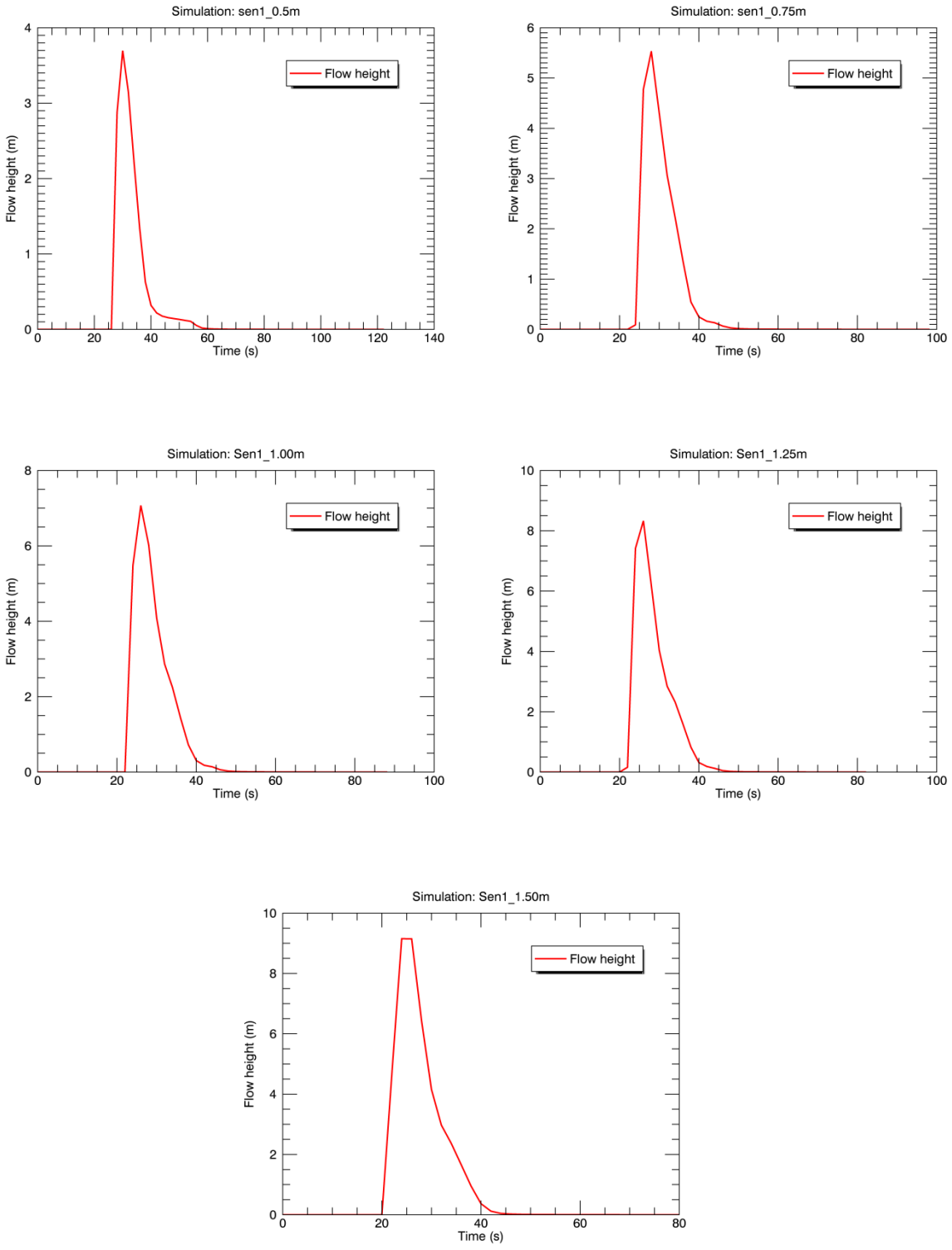
Şekil 144. P2 noktasının zamana göre çığ yüksekliği değişimi



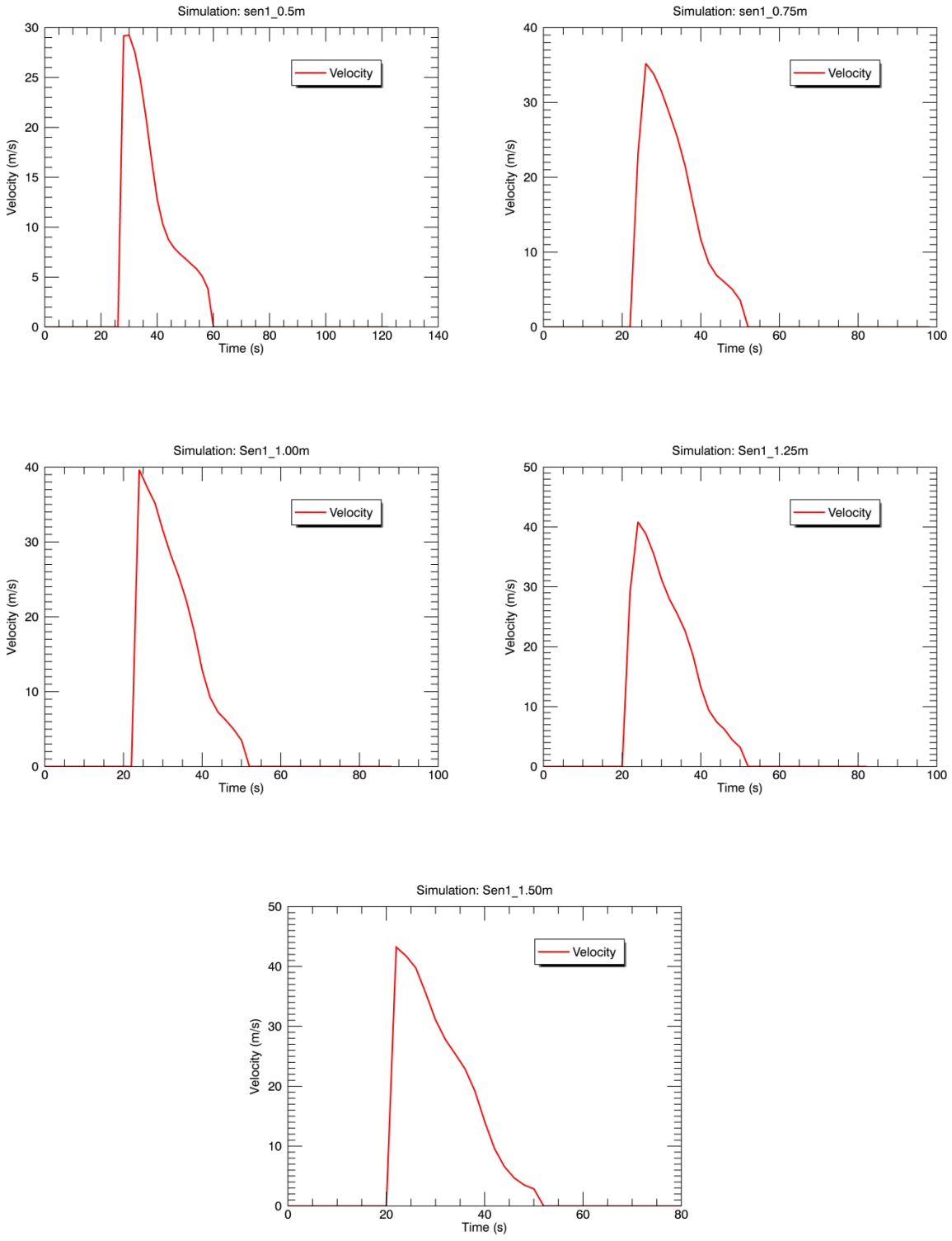
Şekil 145. P2 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi



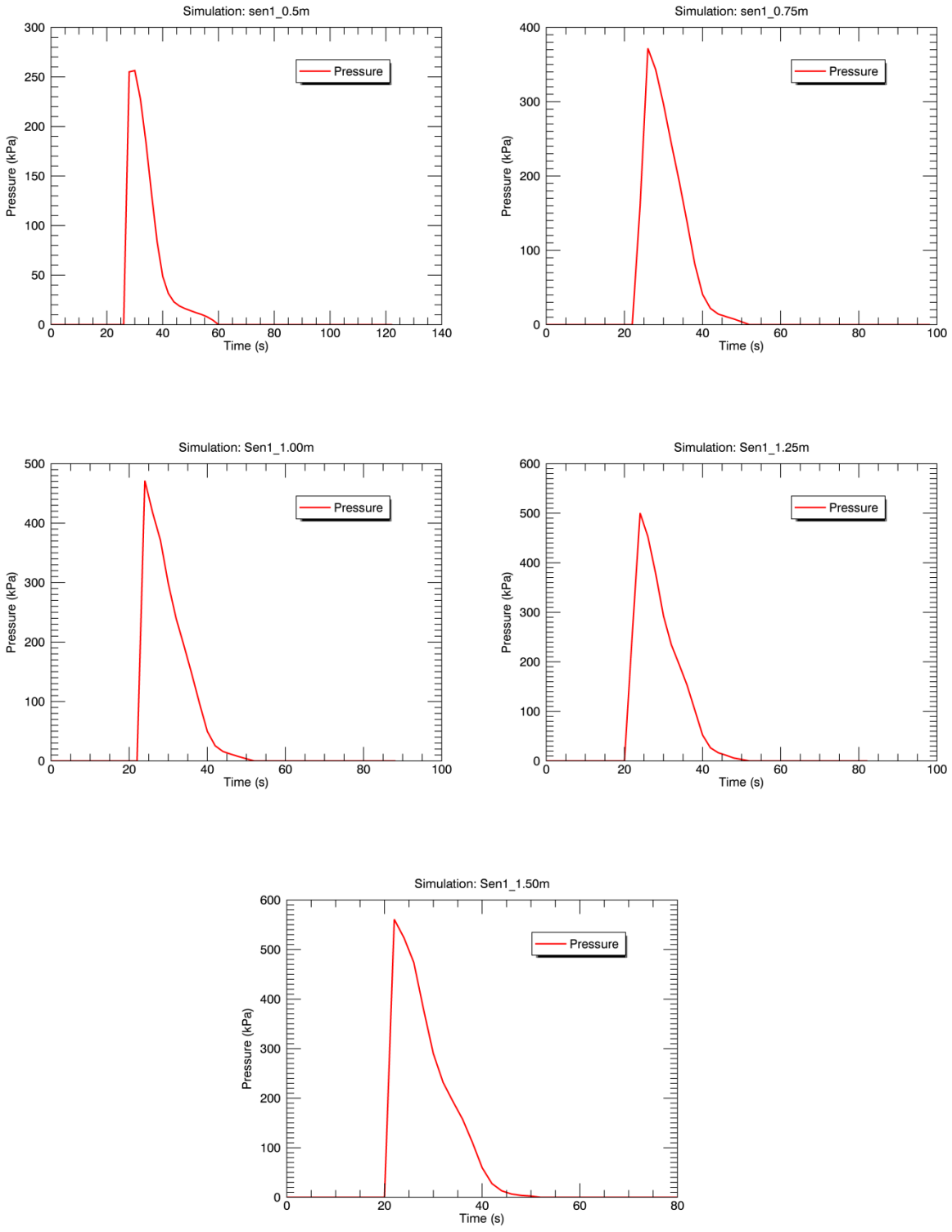
Şekil 146. P2 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi



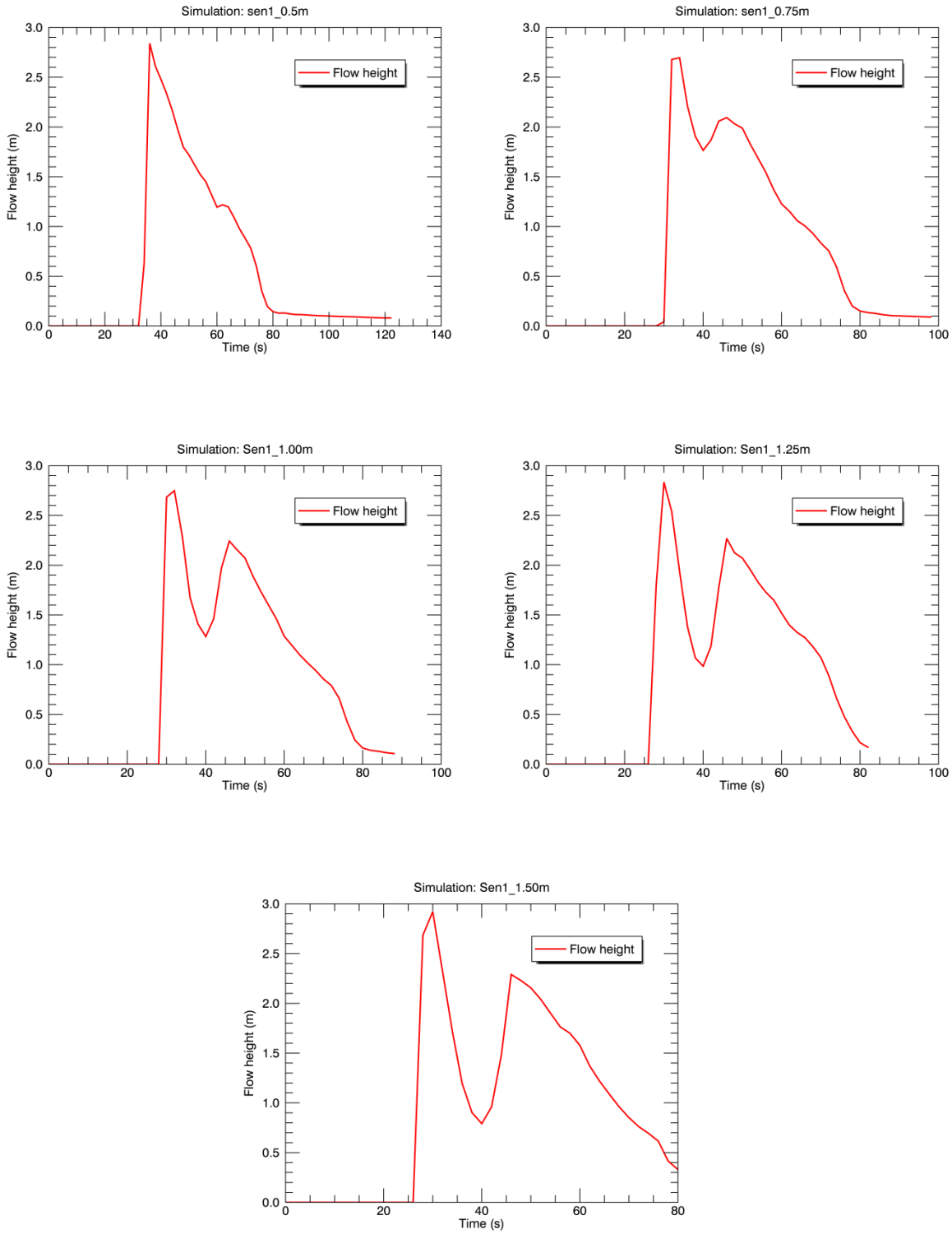
Şekil 147. P3 noktasının zamana göre çığ yüksekliği değişimi



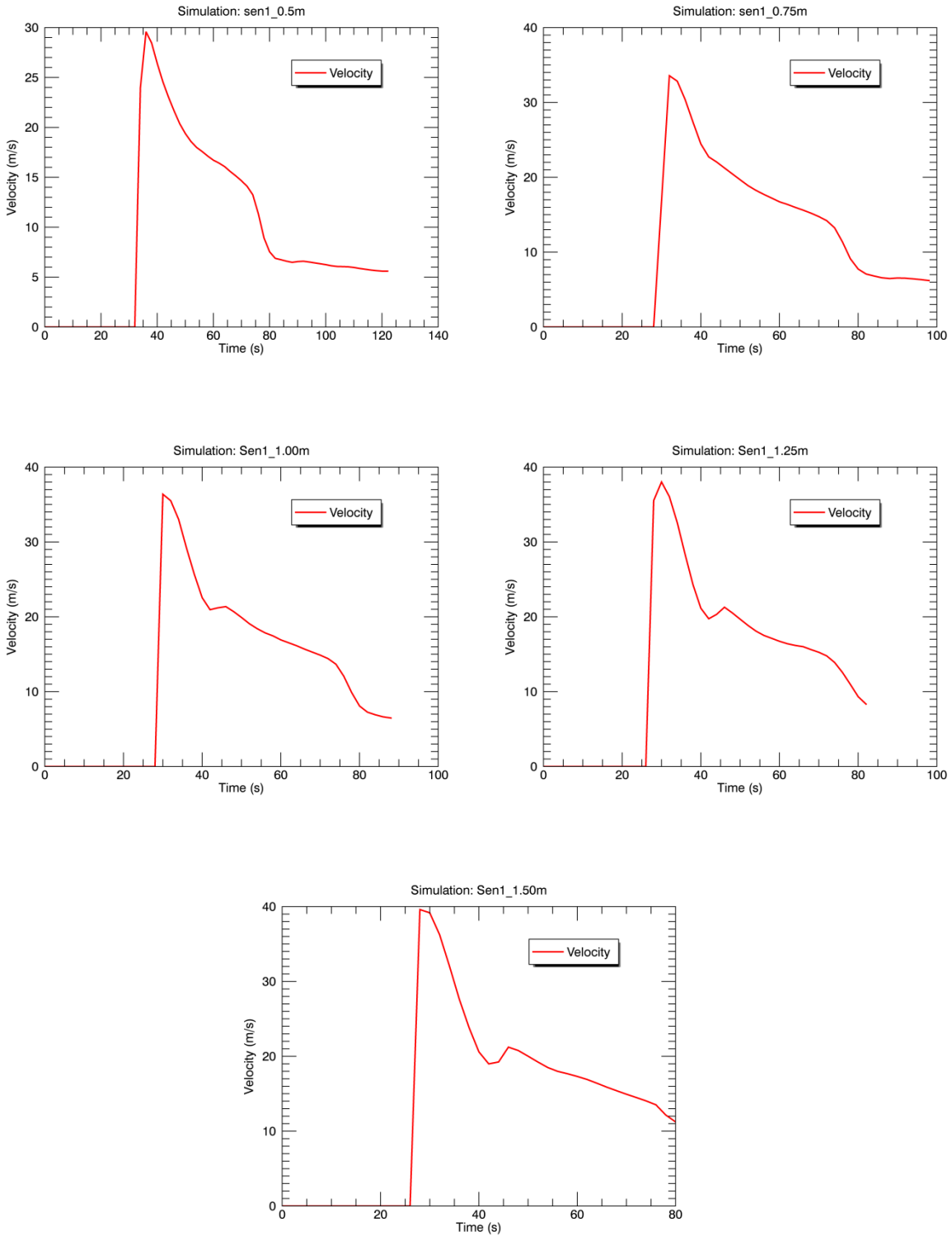
Şekil 148. P3 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi



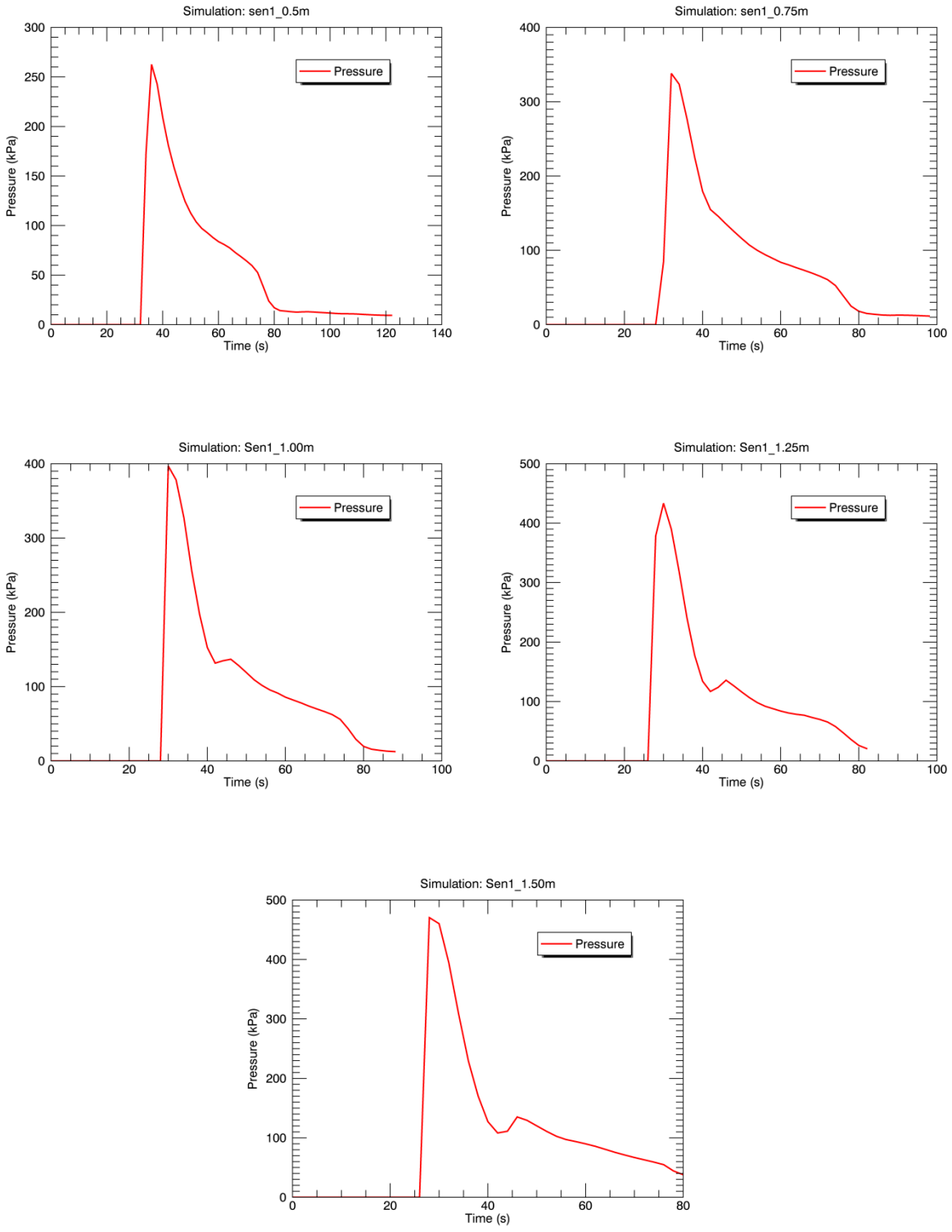
Şekil 149. P3 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi



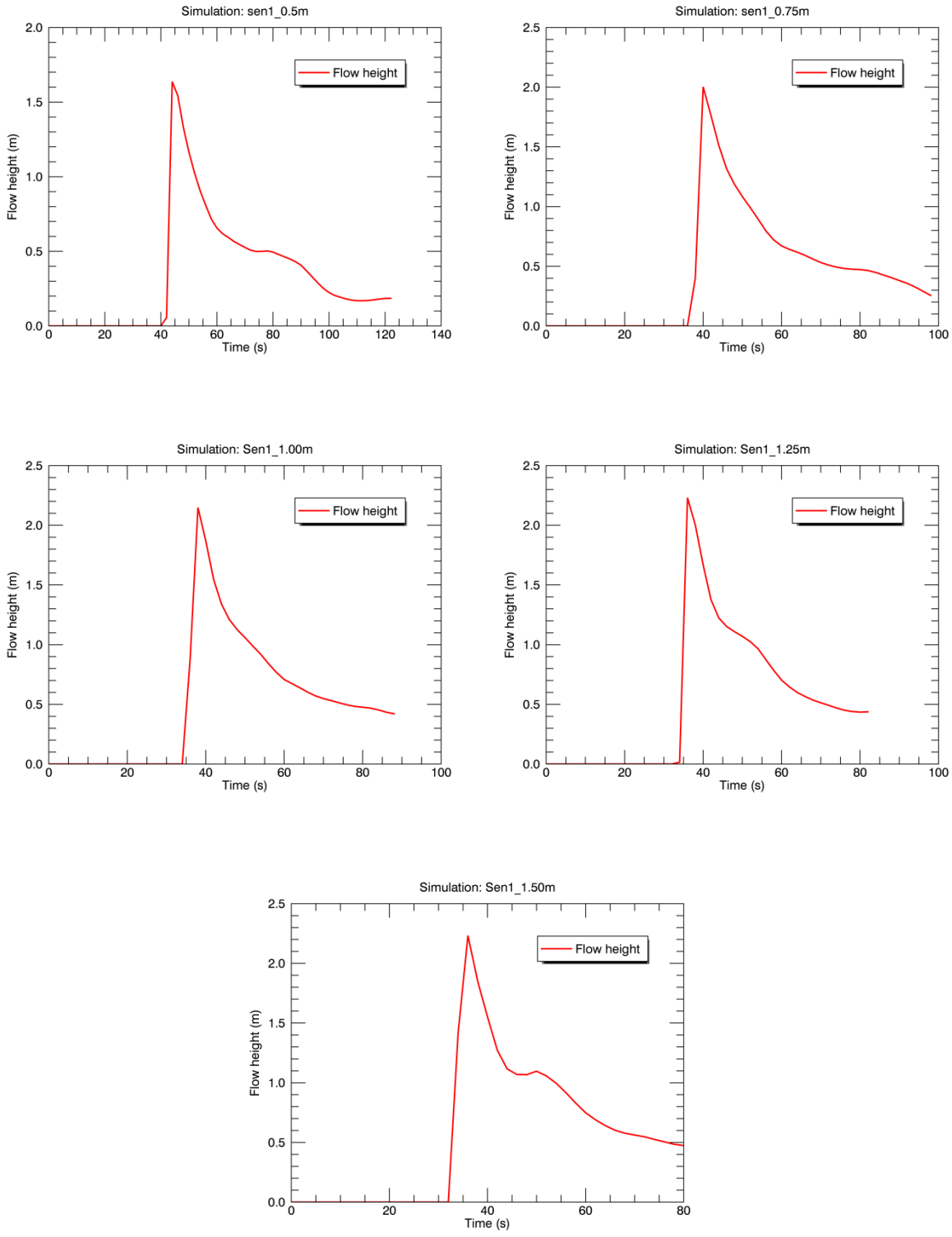
Şekil 150. P4 noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi



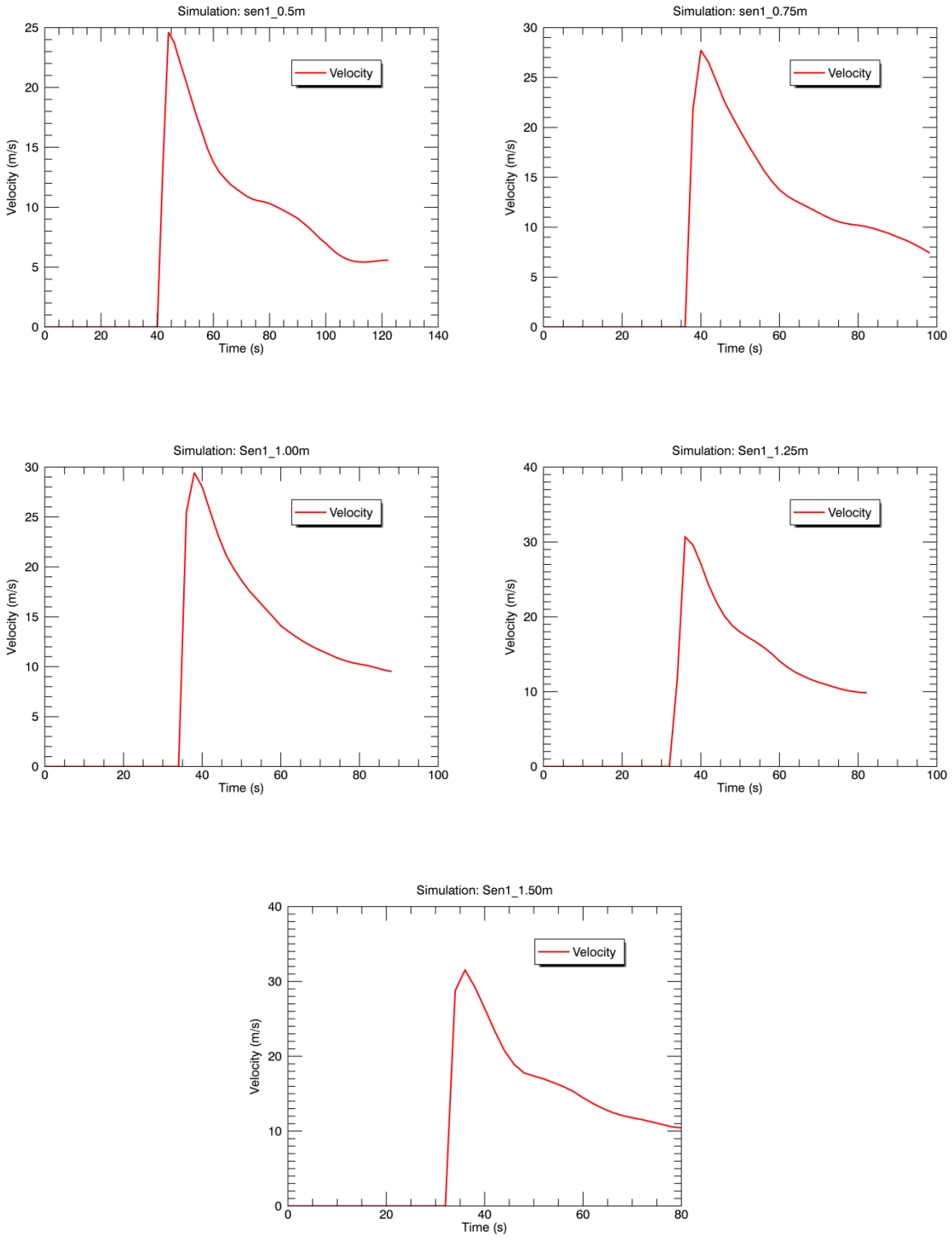
Şekil 151. P4 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi



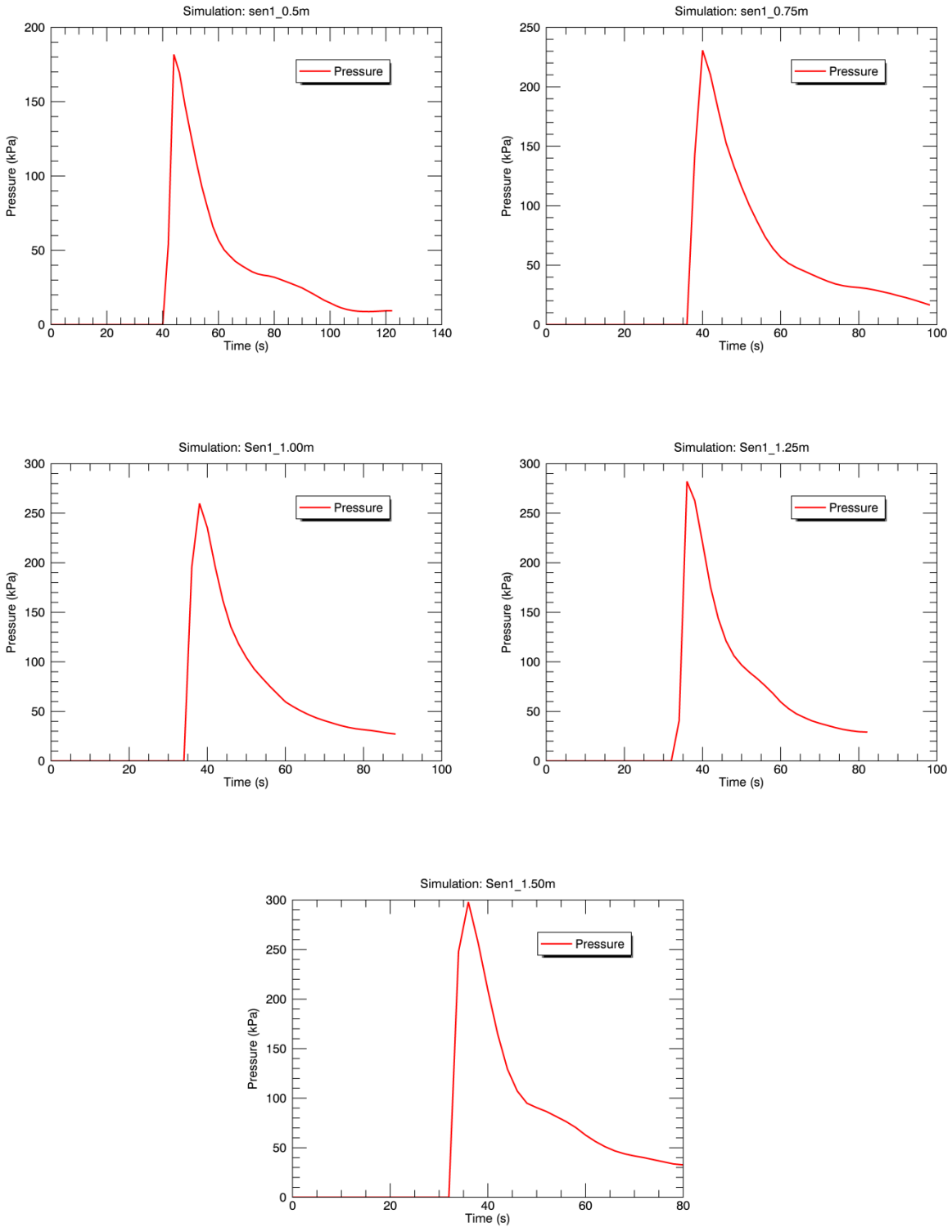
Şekil 152. P4 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi



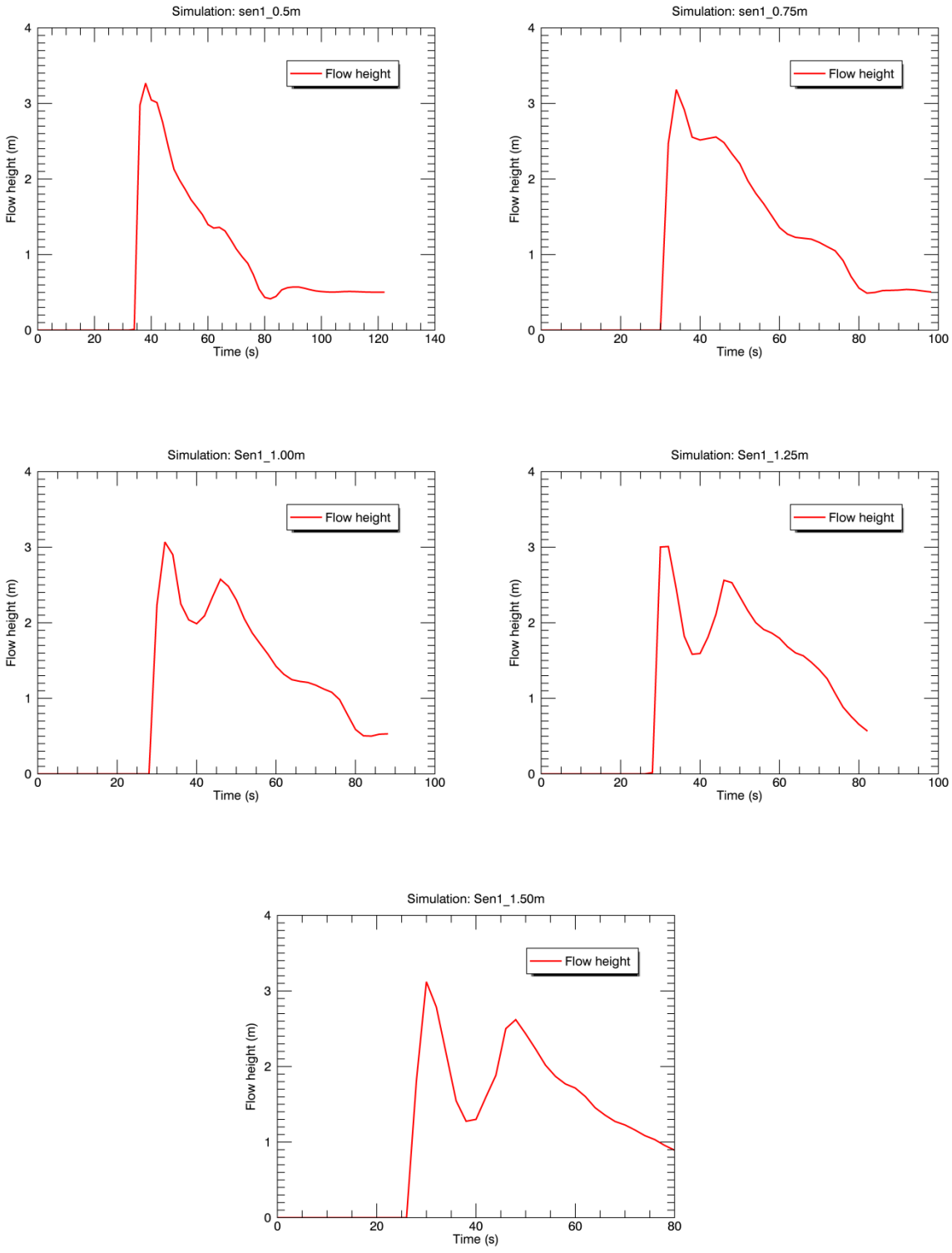
Şekil 153. P5 noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi



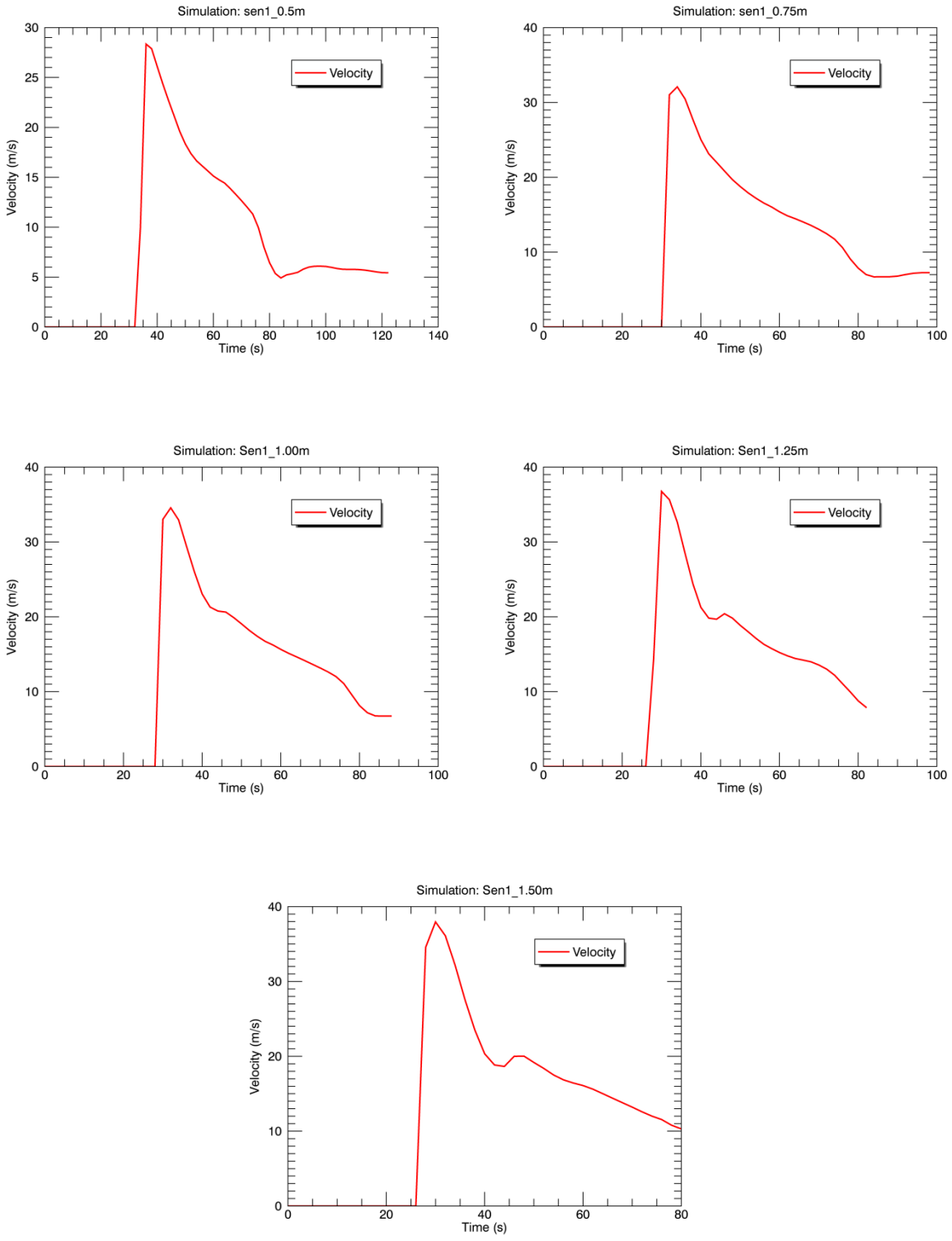
Şekil 154. P5 noktasının zamana göre çığ hızının değişimi



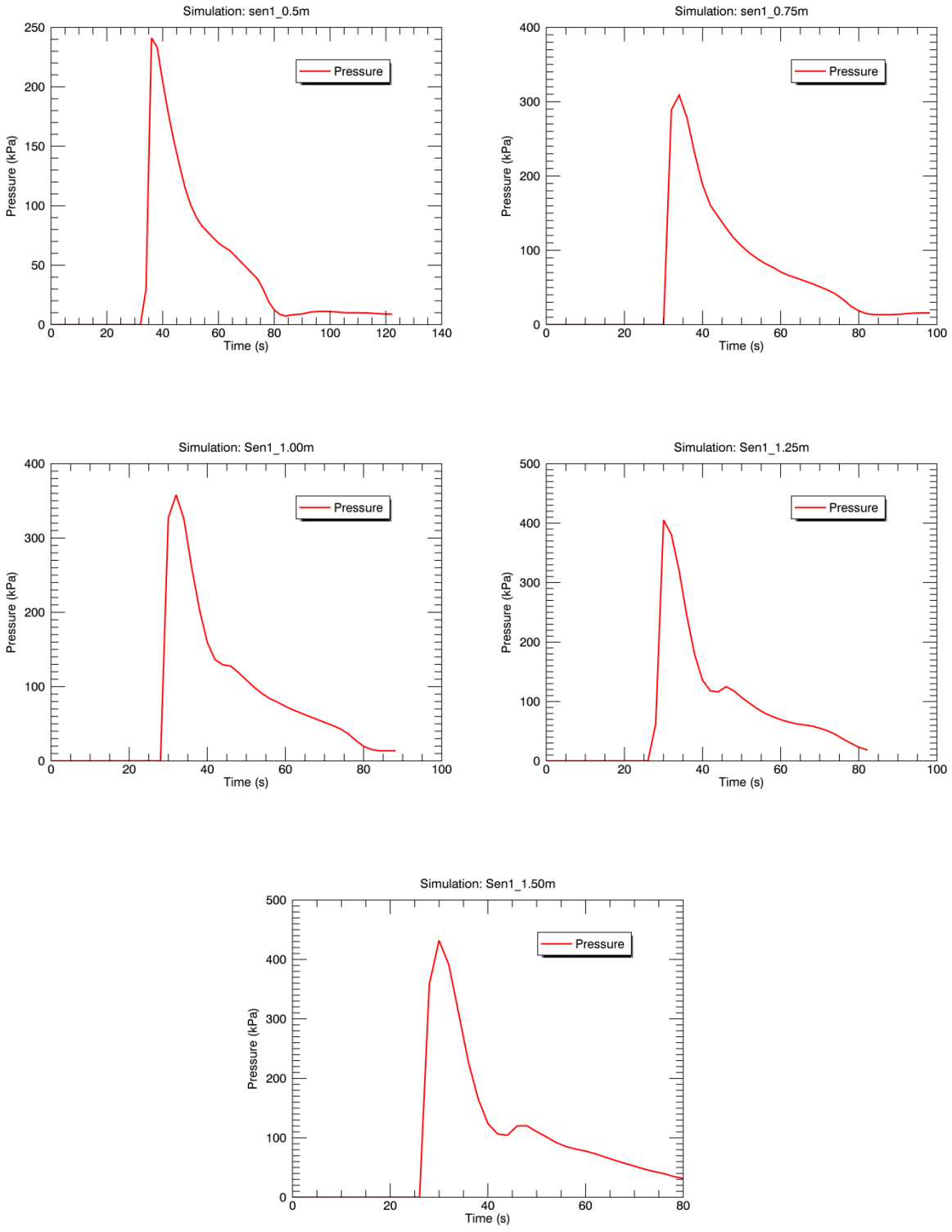
Şekil 155. P5 noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi



Şekil 156. KM noktasının zamana göre çığ yüksekliğinin değişimi



Şekil 157. KM noktasının zamana göre çığ hızının değişimi



Şekil 158. KM noktasının zamana göre çığ basıncının değişimi

Yapılan noktasal analizlerin sonucunda ilk olarak P4 ve Kayak Merkezi noktalarının sonuçlarının benzerliği dikkat çekmektedir. Bahsedilen bu noktalar Şekil 140'dan görülebileceği üzere (Noktalar Şekil 140'da koordinatları ile birlikte verilmiştir.) birbirlerine oldukça yakındır. Bu nedenle analizler sonucunda elde edilen çığ yüksekliği-zaman, çığ hızı-zaman ve çığ basıncı-zaman grafikleri sonuçlarının bahsedilen noktalar için oldukça yakın olmaları olağandır.

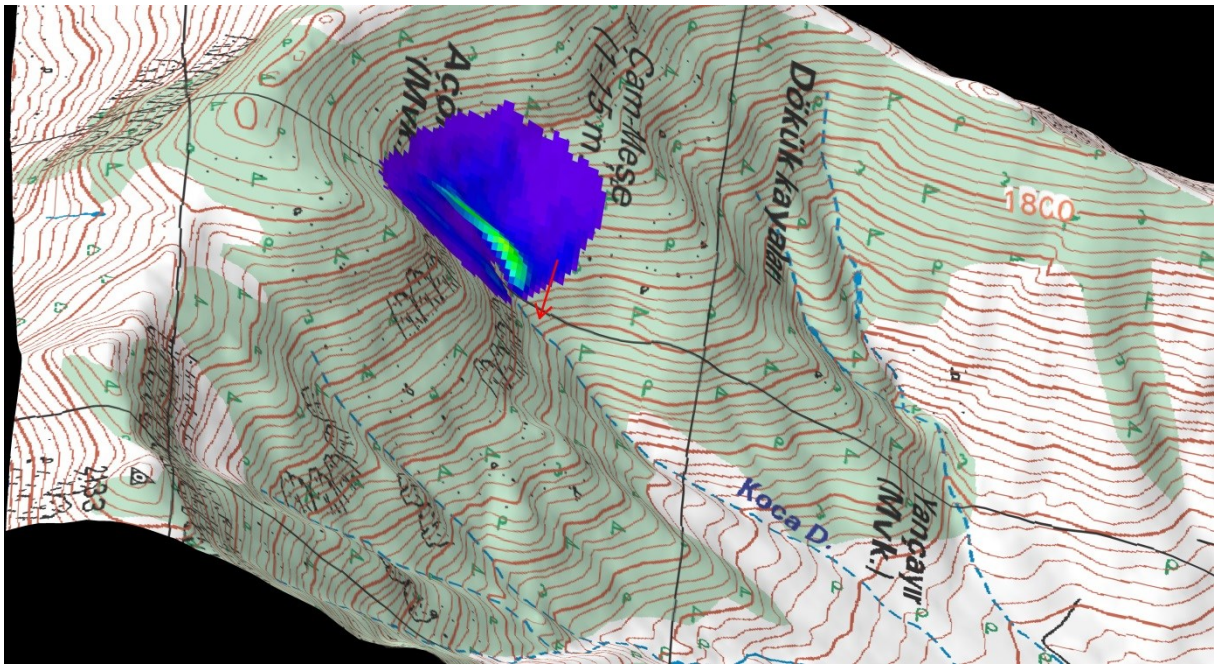
P4 ve Kayak Merkezi için analiz sonuçları çığ yüksekliği-zaman grafikleri açısından değerlendirildiğinde sonuçların 0.75 m ve üzeri çığ kopma derinliğine sahip analizlerde çığ yüksekliklerinin çığ kopma derinlikleriyle orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 150'den görülebileceği üzere 0.75m ve üzeri çığ kopma derinliğine sahip analizler için ikincil pik değerlerin oluştuğu görülmektedir. Bu durumun nedenleri incelenirken topoğrafya, çığ kopma derinliğinin akışa etkisi, kütlesel harekette RAMMS modelinin hangi yaklaşımları ve parametreleri dikkate aldığı gibi birçok etmenin birlikte değerlendirilmesinin büyük ölçüde önemi vardır. Bu yüzden sonuçların nedenleri değerlendirilirken bahsedilen etmenlerin özellikle dikkate alınması gerekliliğinin yanı sıra grafikte okunan değerlerden genel olarak çığ hareketinin belirlenen nokta için parçalı olarak kütlesel hareketlerle meydana gelmiş olması durumuna ihtimal verilmektedir. Bahsedilen durum Kayak Merkezi noktası için de geçerlidir. P4 noktasına benzer sonuçlar KM noktası için Şekil 156'dan ayrıca görülebilmektedir.

P4 ve Kayak Merkezi noktaları için analiz sonuçları çığ hızları-zaman grafikleri açısından değerlendirildiğinde maksimum çığ hızlarının çığ kopma derinliği ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 151 ve Şekil 157). P4 ve KM noktaları için çığ yüksekliği-zaman grafikleri analizinde olduğu gibi kopma derinliği değerlerinin 1.00m, 1.25m ve 1.50m olduğu durumlarda ikinci bir pik etkisinin sonuçları grafikten okunabilmektedir. Bu durum RAMMS modelinin çığ yüksekliği-zaman grafiklerinin çığ hızları-zaman grafikleri ile orantılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

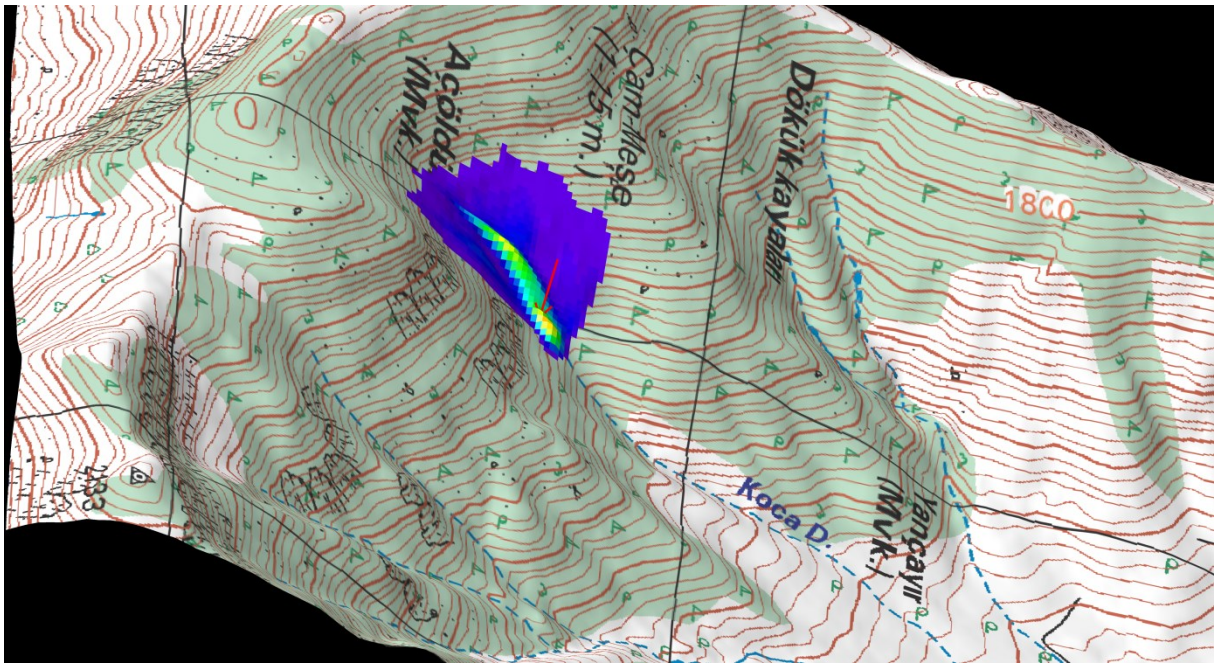
P4 ve KM noktaları çığ basıncı-zaman grafikleri açısından değerlendirildiğinde çığ yüksekliği-zaman ve çığ hızı-zaman grafikleriyle benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Maksimum çığ basıncının çığ kopma derinliği ile orantılı olarak arttığı görülebilmektedir (Şekil 152 ve Şekil 158). Yine bununla birlikte 1.00m, 1.25m ve 1.50m çığ kopma derinliklerine sahip analizlerde ikincil pik değerleri 40. sn dolaylarında görülmektedir.

P4 noktası için yapılan analizlerde çığ yüksekliği-zaman (Şekil 150), çığ hızı-zaman (Şekil 151) ve çığ basıncı-zaman (Şekil 152) açısından incelendiğinde çığın noktaya ulaşma zamanlarının birbirini desteklemesi modelin sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermektedir. Yine KM noktası için yapılan analizlerde de (Şekil 156, Şekil 157 ve Şekil 158) bu durum açıkça görülmektedir.

Yapılan noktasal analizlerden elde edilen diğer bir sonuç Şekil 140'da genel görüntüsü verilen noktalara çığın ulaşma zamanlarının konumlarına göre mantıksal olmasıdır. Örneğin; P1 noktasının P2 noktasına göre, P2 noktasının da P3 noktasına göre çığ etkisine daha erken maruz kalmaları beklenmektedir. Şekil 141'de 0.5m kopma derinliğine sahip çığ analizinde çığın belirlenen noktaya varış zamanı 10sn'nin biraz üstünde, Şekil 144'te aynı analiz için çığın belirlenene noktaya varış zamanı 20sn'ye yakın ve Şekil 147'de aynı analiz için çığın belirlenen noktaya varış zamanı 25sn'nin üzerindedir. Bu durum seçilen tüm noktalar ve tüm kopma derinliklerinde de geçerlidir. Buradan RAMMS modelinin çıktılarının zamansal olarak mantıklı değerler verdiği ve birbirini doğruladığı görülmektedir.



Şekil 159. P1 Noktasının üç boyutlu görüntüsü (Çığ Gelmeden Hemen Önce)



Şekil 160. P1 Noktasının Üç Boyutlu Görüntüsü (Çığ Geldiği Anda)

Akış hattı boyunca tanımlanan 5 farklı noktanın noktasal analizlerinden elde edilen sonuçlardan bir diğeri o noktadan geçen maksimum çığ yüksekliği değerlerine genel olarak P1 noktasının sahip olmasıdır. Şekil 141'den görülebileceği üzere çığ kopma derinliğine bağlı olarak belirlenen noktadan geçen maksimum çığ yükseklik değerlerinin kopma derinliğine orantılı olarak arttığı görülmektedir. Karşılaştırma yapmak gerekirse, genel olarak P1 noktasının en yüksek değerlerde maksimum çığ yüksekliği değerini aldığı görülmüştür. Bu durum kütlenin korunumun bir sonucudur. Çünkü vadi o noktada çok dar bir kesite sahiptir. Dar kesitte akımın aynı debisini sağlayacak çığ yüksekliği de büyük olacaktır. Bu durum Şekil 159 ve Şekil 160'dan daha açıkça anlaşılabilmektedir.

Nokta analizlerinden elde edilen diğer bir sonuç ise maksimum çığ hızı-zaman değerlerinde P2 noktasının genel olarak diğer noktalara göre yüksek hız değerlerine sahip olmasıdır. Şekil 145 ve diğer noktalar için yapılan çığ hızı-zaman analiz grafikleri karşılaştırıldığında P2 noktasının diğer noktalara göre yüksek çığ hızı değerlerine sahip olduğu görülebilmektedir. Bu durumun nedeni P2 noktasından itibaren hızlanma eğiliminin azalması olarak değerlendirilebilir.

Yine nokta analizlerinin sonucu olarak maksimum çığ basıncı-zaman değerinde P2 noktasının genel olarak diğer noktalara göre daha yüksek basınç değerleri verdiği görülmektedir. Şekil 146 ve diğer noktalar için yapılan basınç analizleri karşılaştırılırsa P2 noktasının diğer noktalara göre daha yüksek basınç değerlerine sahip olduğu görülebilecektir. Belirli bir nokta için maksimum basınç değerinin aynı nokta için maksimum hız değeriyle orantısal olarak yakın

sonuçlar göstermesi hız-basınç değerleri arasındaki orantısal ilişkinin model tarafından da desteklendiği anlamına gelir.

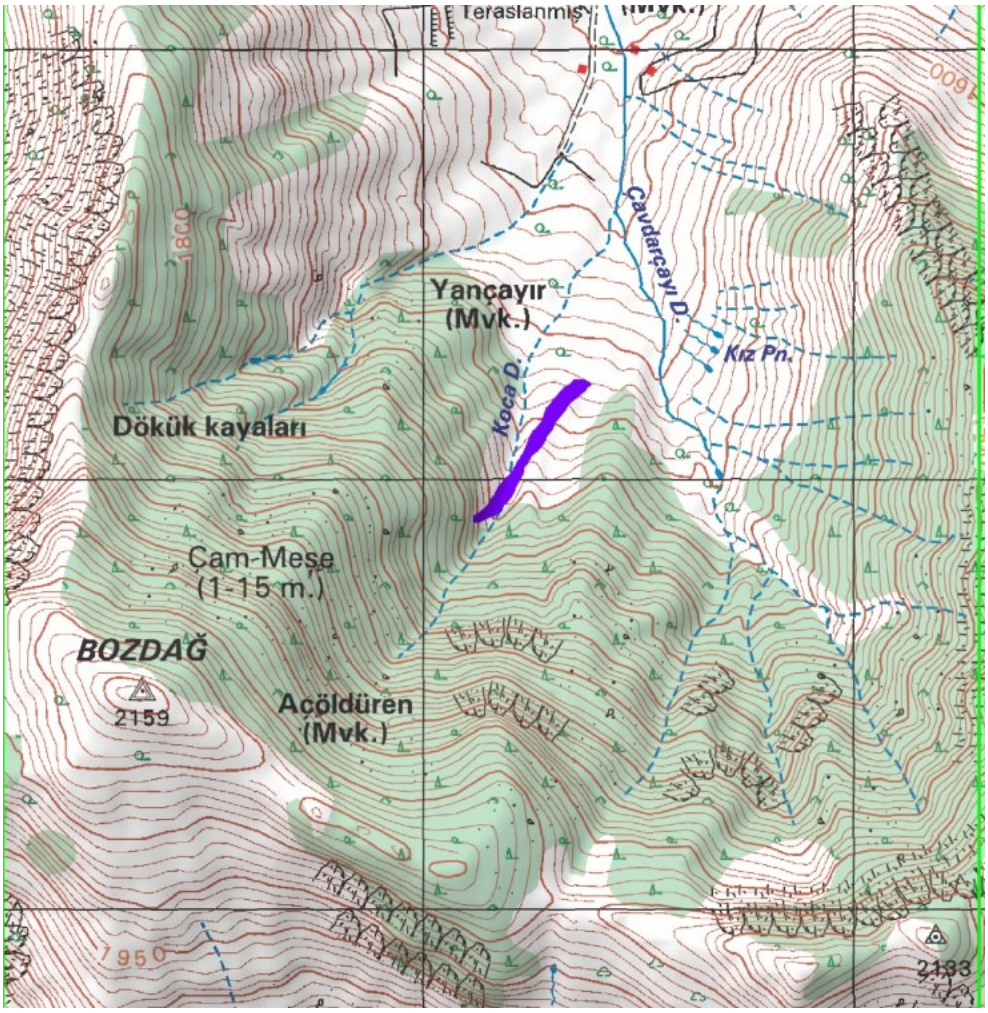
Altı farklı nokta için yapılan analizlerin sonucunda aynı nokta için farklı çığ kopma derinliklerindeki sonuçlara bakılacak olursa hemen hemen her grafiğin aynı eğilime sahip olduğu görülmektedir. Ufak farklılıklar ve grafikte ufak sıçramalar olmakla birlikte çığ hızı, yüksekliği ve basıncı parametrelerinin yaklaşımı birbirine benzerdir. Bununla beraber çığ kopma derinliğinin artması ile beraber çığ hızı, çığ basıncı ve çığ yüksekliği parametrelerinin değerlerinin de çığ kopma derinliği ile doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir.

Genel olarak gözlemlenen diğer bir sonuç ise çığın belirlenen noktaya ulaşma zamanının çığ derinliği arttıkça kısalmasıdır. Grafiklerin eğilimine bakıldığında seçilen nokta için çığ derinliği arttıkça çığın o noktadaki başlama zamanının kısaldığı görülmektedir. Bu durum incelenen çığ yüksekliği, çığ hızı ve çığ basıncı parametrelerinin tümü için geçerlidir.

Çığ Saptırma Duvarı Çalışması

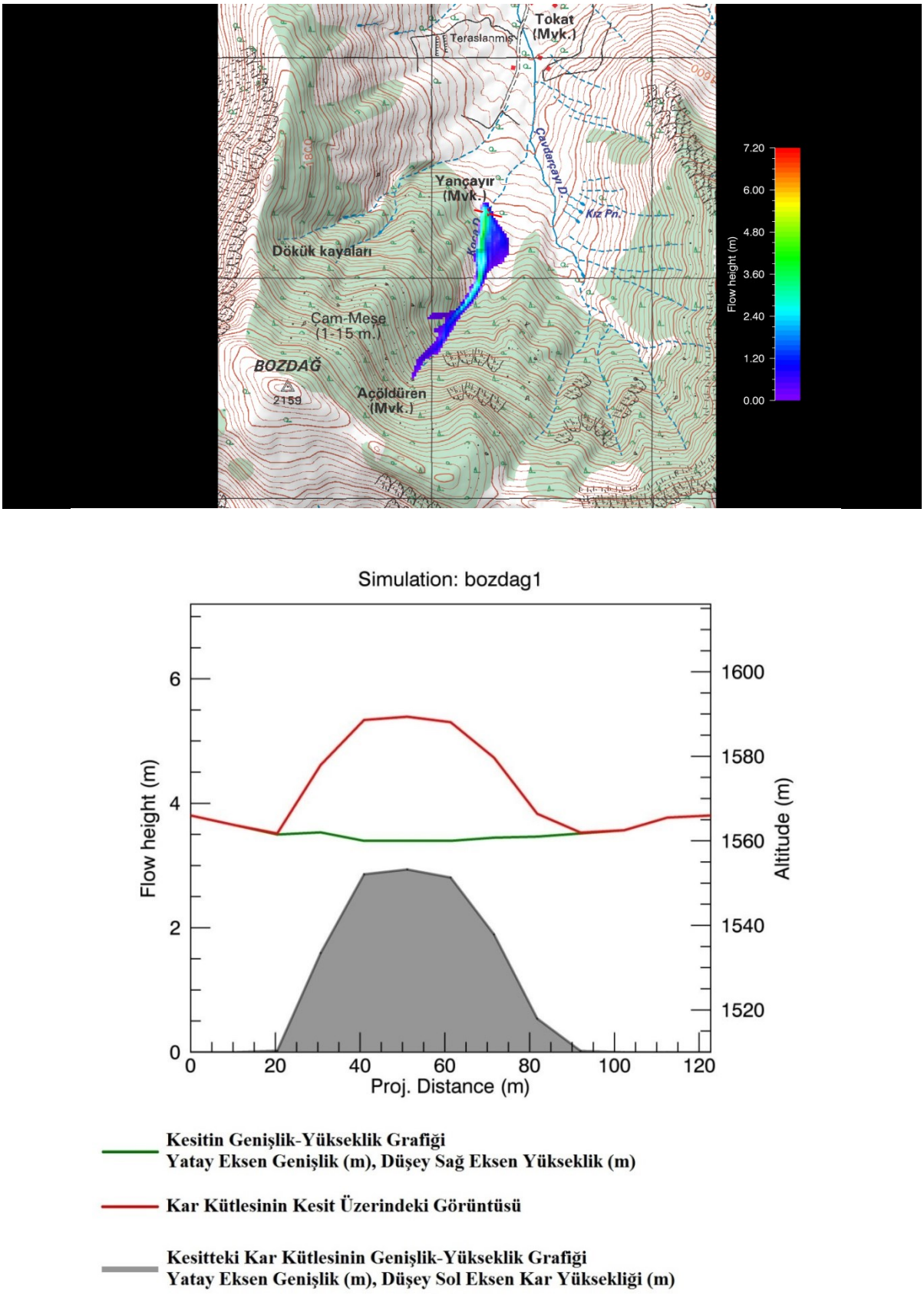
Bu bölümde ayrıca çığ oluşması durumunda çığ patikası boyunca yapıları korumak amacıyla saptırma duvarı (barajları) simüle edilmeye çalışılmış ve modelleme çalışmalarının sonuçları sunulmuştur. İlk aşamada çığ olması durumunda çığ hattında bulunan kayak merkezini koruyabilmek amaçlı “saptırma” duvarı çığ akış hattına eklenmiş ve analizler yapılmıştır. Programın yapısından kaynaklı yapılan bu duvar, sayısal yükseklik modelinde yapılan değişikliklerle elde edilip herhangi bir dayanım veya mühendislik hesaplamalarına tabii değildir. Sadece belirlenen bir alanda sayısal yükseklik modelini yeniden düzenleyip o alandaki zeminin olduğundan daha yüksek ve birebir zemin gibi davranacağı öngörülerek analiz yapılabilmektedir. Bu nedenle sadece fiziksel büyüklükler açısından değerlendirilen bu saptırma duvarı sonrasında inşaat mühendisliği tasarımı açısından ayrıca irdelenmelidir.

Yapılan analizde belirli bir kopma alanı (senaryo 2) ve belirli bir kopma derinliği (h=0.5m) belirlenmiş ve üç farklı duvar yüksekliğinde modelleme gerçekleştirilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Saptırma duvarı tasarlanırken, gelen çığ kütlesinin akış hattından daha güvenli olduğu düşünülen bir bölgeye saptırmaya yönelik düşünülmüş, bu düşünce doğrultusunda çizilmiştir. Şekil 161’de görünen mavi alanda saptırma duvarının plandan görüntüsü gösterilmektedir. Baraj yükseklikleri 5m, 10m ve 15m olarak belirlenmiş ve belirlenen baraj alanının sayısal yükseklik modellerinde yükseltmeler gerçekleştirilmiştir.

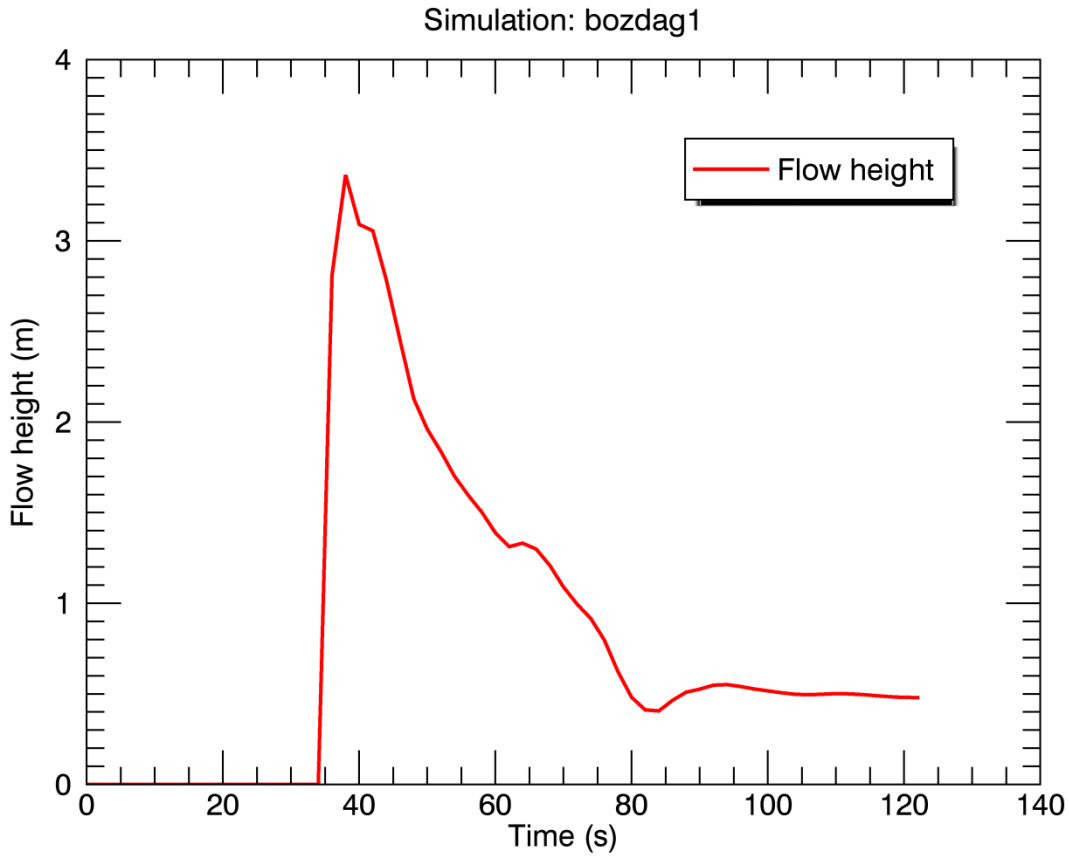


Şekil 161. Saptırma barajının plandan bir görüntüsü

Analizlerin karşılaştırmaları yapılırken belirlenen bir profile (Burada profil kayak merkezini gösterir şekilde seçilmiştir.) göre çığ yüksekliği ve belirli bir noktaya (Burada nokta kayak merkezinin orta noktası olarak seçilmiştir.) göre çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi incelenmiş, sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. İlk olarak baraj olmaması durumunda senaryo 2 olarak belirlenen akış hattında 0.5m kopma derinliğine sahip çığın davranışları Şekil 162 ve Şekil 163'te sunulmuştur.



Şekil 162. Çığ Simülasyonunun Kayak Merkezine Geldiği Andaki Görüntü ve Çığ Yüksekliği



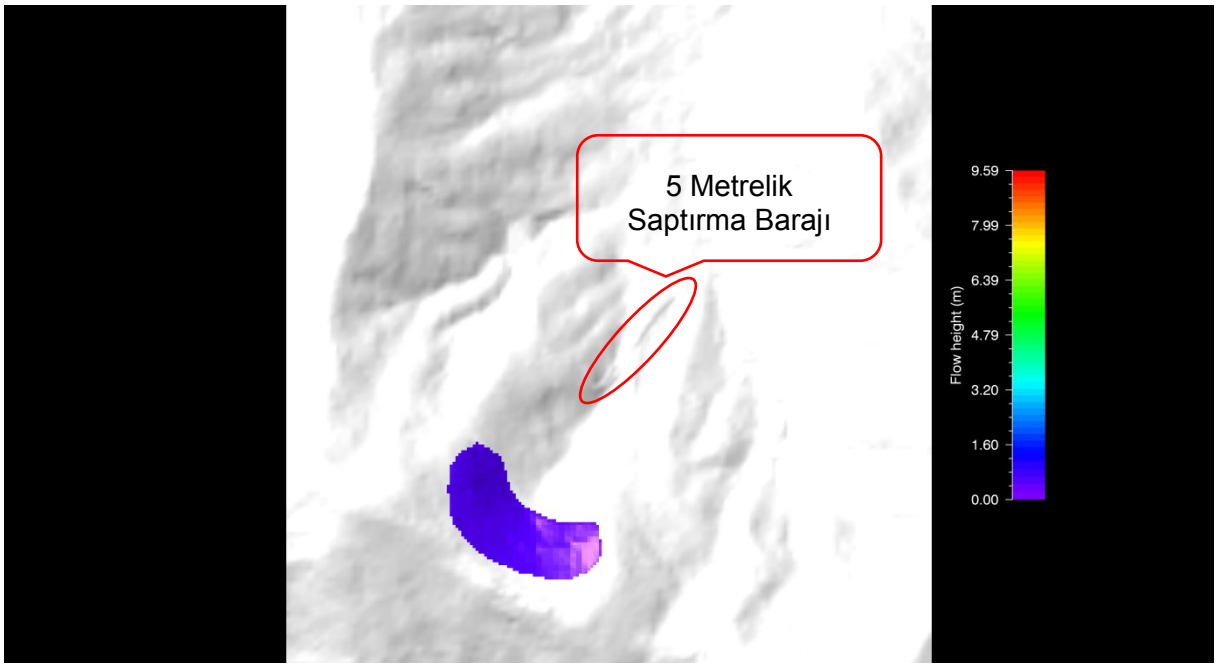
Şekil 163. Kayak Merkezinin Orta Noktasında Çığ Yüksekliğinin Zamana Bağlı Değişimi (Duvar Yok)

Şekil 162'de gösterilen kesit grafiğinde yeşil renk ile çizilmiş grafik arazinin yükseklik modelinin genişliğe göre değişimini vermekte olup yükseklik değerleri grafiğin sağ düşey ekseninden okunabilmektedir. Aynı şekilde kırmızı renk ile çizilmiş grafik çığ yüksekliğinin arazi yükseklik modeli üzerindeki görüntüsünü vermektedir. Grafikte gri olarak taranmış alan çığ yüksekliğinin düz bir zemindeki kesit görüntüsünü vermektedir. Okumalar sol düşey eksenden direk yapılabilmektedir.

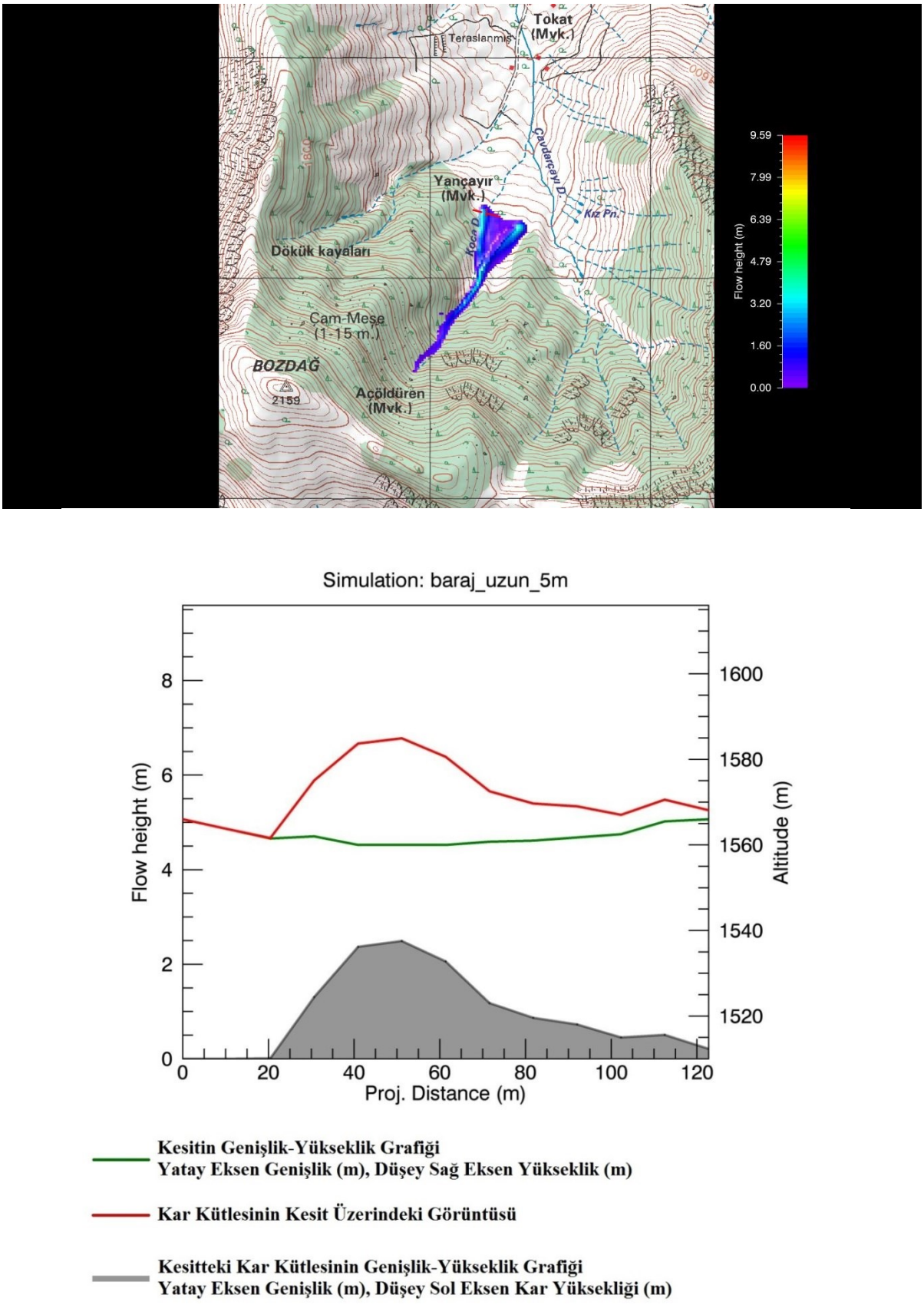
Şekil 162'de görüleceği üzere çığın kayak merkezine ilk geldiği anda kar kütlesinin yaklaşık 80 metre genişliğinde ve maksimum kar yüksekliğinin yaklaşık 3.0 metre olduğu görülmektedir. Yine Şekil 163'te görülebileceği gibi çığ süresi boyunca kayak merkezinin ortasında maksimum çığ yüksekliğinin yaklaşık 3.3 metreye kadar çıkabildiği görülmektedir.

Çığ patikası hattında planlanan saptırma duvarının sayısal yükseklik değeri artırılarak bu alanda 5 metrelik yüksekliğe sahip bir duvar elde edilmiştir. Tüm koşullar aynı tutularak sürtünme parametreleri hesaplanmış, çığ kopma alanı Senaryo 2'ye göre birebir aynen alınmış

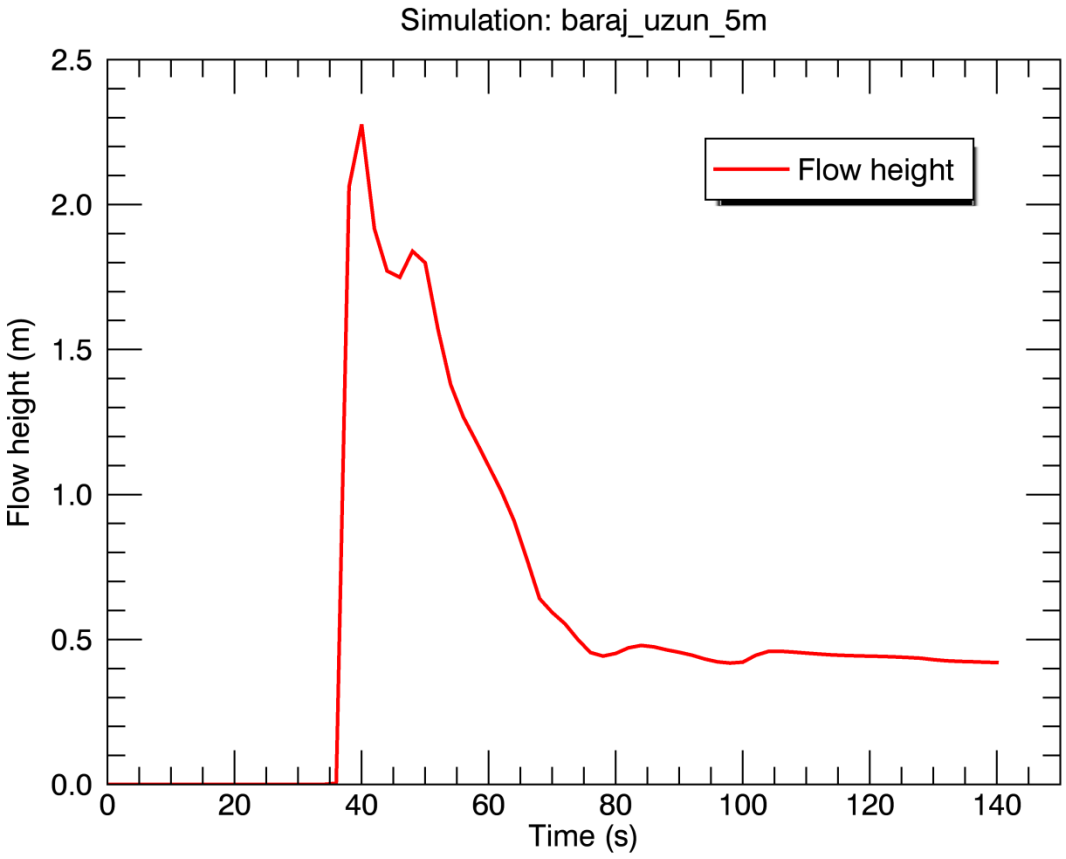
ve simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen duvarın sayısal yükseklik haritasındaki görüntüsü Şekil 164'te gösterilmiştir. Analizlerin sonucunda aşağı yönde akan çığ kütlesinin belirli bir kısmının saptırma duvarının etkisiyle yön değiştirdiği, belirli bir kısmının da duvarın üstünden aşarak eski hattına geri döndüğü ve kayak merkezi üzerinden geçtiği görülmektedir (Şekil 164). 5 metrelik yüksekliğe sahip saptırma barajının etkisiyle kayak merkezine etki eden çığ yüksekliğinin sonuçları ve görselleri Şekil 165 ve Şekil 166'da sunulmuştur.



Şekil 164. 5 metrelik saptırma barajının sayısal yükseklik haritasındaki görüntüsü



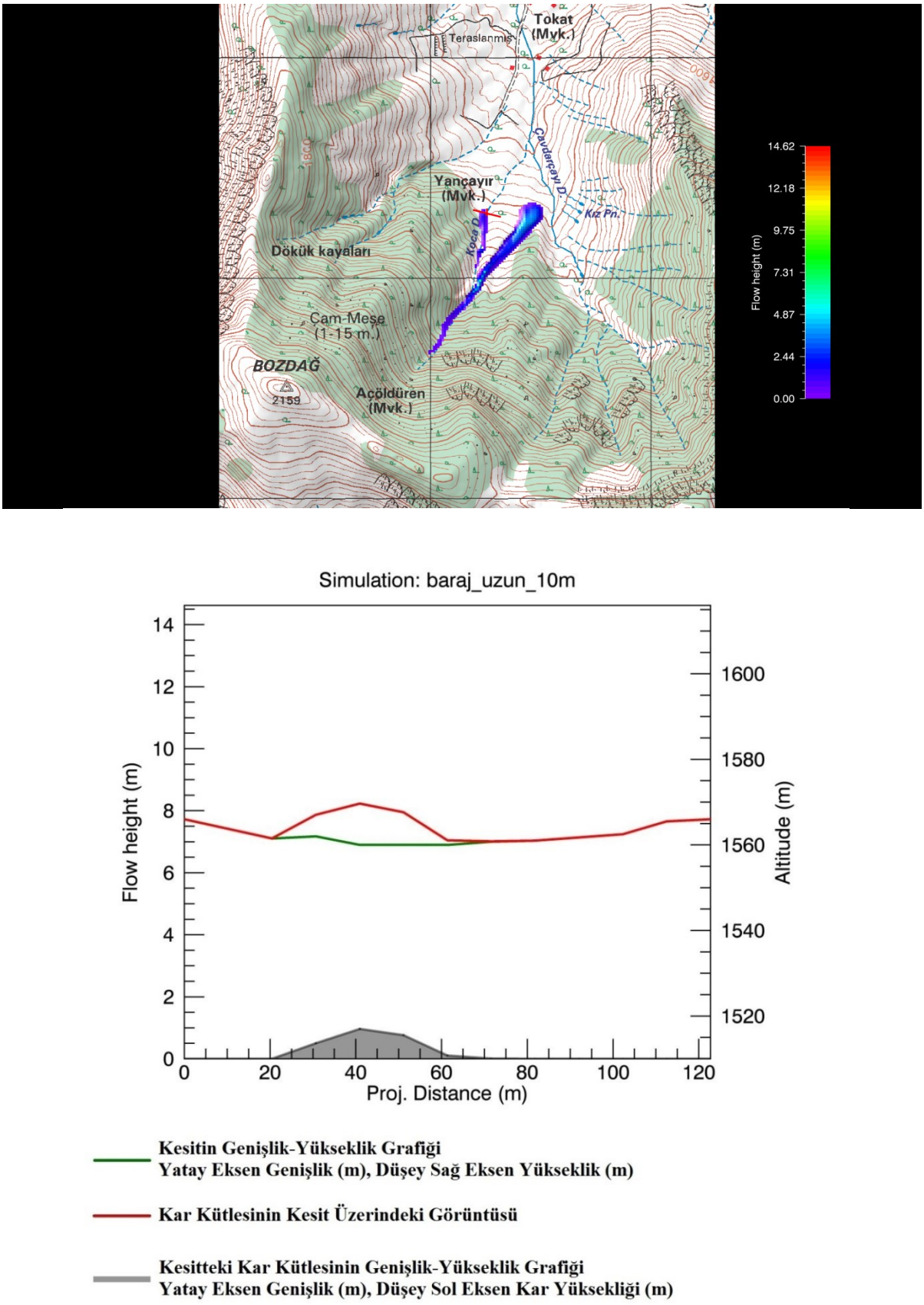
Şekil 165. Akan çığ kütlesinin kayak merkezine geldiği anın plan görüntüsü ve çığ yüksekliği sonuçları (5m'lik saptırma barajı var.)



Şekil 166. Kayak merkezinin orta noktasında çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi (5 metrelik saptırma barajı var.)

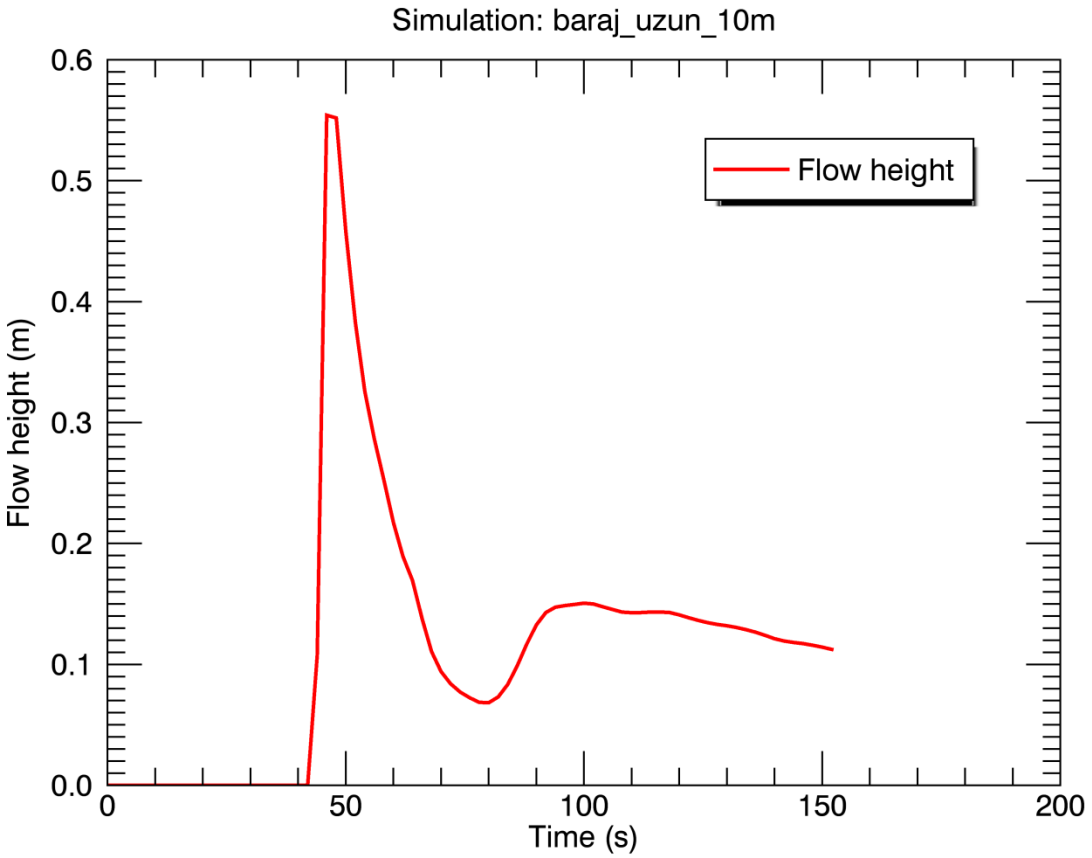
Şekil 165'de görülebileceği gibi kayak merkezi hattı boyunca 100 metre genişliğinde ve maksimum yüksekliği ortalama 2.5 metre olan bir çığ kütlesi kayak merkezinden geçmektedir. Bununla birlikte Şekil 166'da görülebileceği üzere kayak merkezinin orta noktasında maksimum yüksekliği 2.3 metreyi bulan bir çığ yüksekliği elde edilmektedir. Sonuçlardan da anlaşılabildiği üzere saptırma barajının etkisiyle bu analizde kayak merkezine etki eden çığ genişliği artmış (yönlendirilen tarafa doğru bir genişleme tespit edilmiş), bununla birlikte çığ yüksekliğinde düşüşler meydana gelmiştir.

Diğer bir analizde Şekil 164'te plan görüntüsünden gösterilen baraj alanının sayısal yükseklik modeli 10 metre yükseltilerek yeni bir sayısal yükseklik modeli elde edilmiş ve analizler bu sayısal model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 167'de bu analizlerin kayak merkezi boyunca çığ yüksekliklerinin plan görüntüsü ve kesite göre değişimleri sunulmuştur.



Şekil 167. Akan çığ kütlesinin kayak merkezine geldiği anın çığ yüksekliği sonuçları (10m'lik saptırma barajı var.)

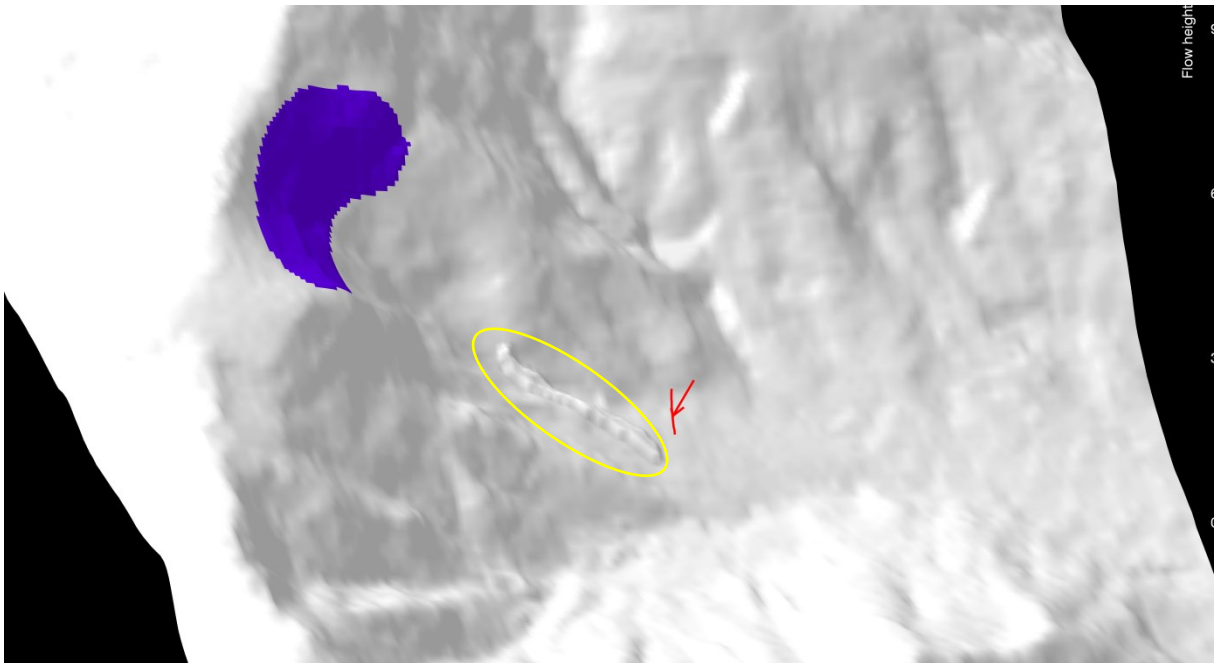
Şekil 167'de görülebileceği üzere 10 metrelik saptırma duvarının etkisiyle akan çığ kütlesinin büyük oranda saptırıldığı, saptırılan kütleye oranla küçük bir kütlenin barajı aşarak eski çığ patikasına girdiği görülmektedir. Aynı şekilde kayak merkezine gelen çığ kütlesinin geldiği andaki çığ yüksekliği sonuçları görülmektedir. Burada kayak merkezine etki eden çığın genişliğinin yaklaşık 40 metreye ve bu kesit için maksimum çığ yüksekliğinin yaklaşık 1.0 metreye düştüğü görülmektedir.



Şekil 168. Kayak merkezinin orta noktasında çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi (10 metrelik saptırma barajı var.)

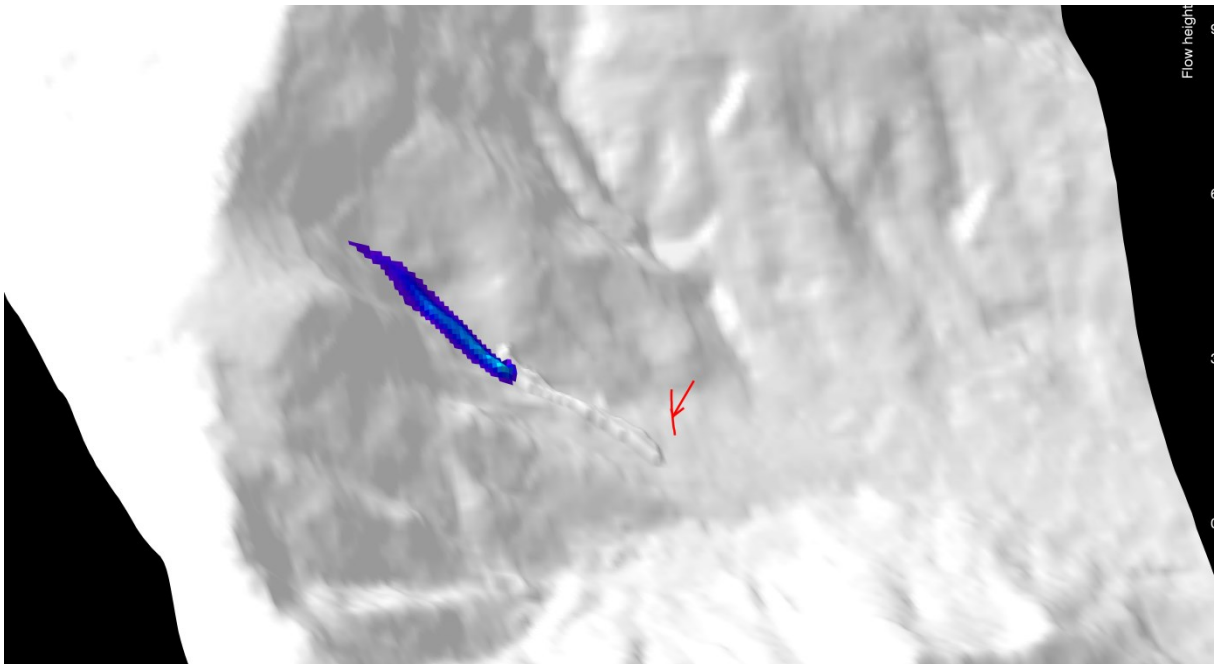
Şekil 168'de görülebileceği gibi kayak merkezine etki eden çığ yüksekliğinin zamana göre değişiminde oldukça farklılıklar görülmektedir. Akan kütlenin büyük oranda saptırılmasıyla beraber çığ kütlesinin kayak merkezine ulaşma zamanının geciktiği, elde edilen maksimum çığ yüksekliğinin de azaldığı görülmektedir.

Son olarak 15 metre yüksekliğe sahip saptırma barajını içeren sayısal yükseklik modelinde analizler yapılmıştır. Elde edilen barajın üç boyutlu görüntüsü Şekil 169'da sunulmuştur.

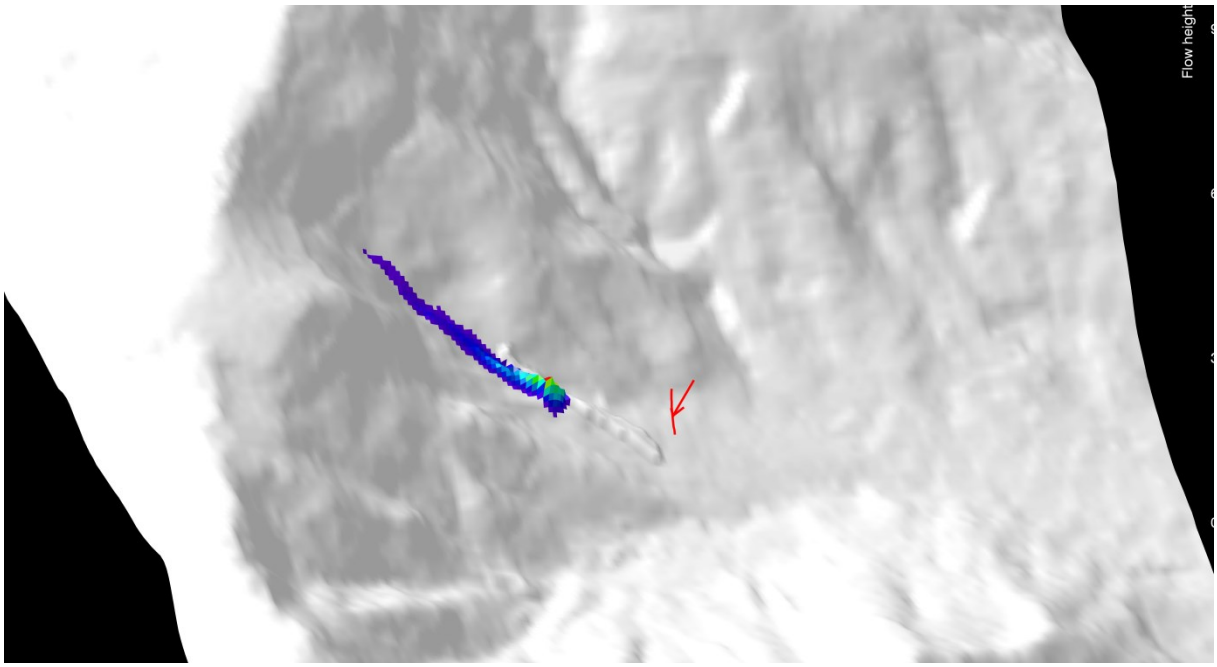


Şekil 169. 15 metrelik saptırma barajının sayısal yükseklik haritasındaki görüntüsü

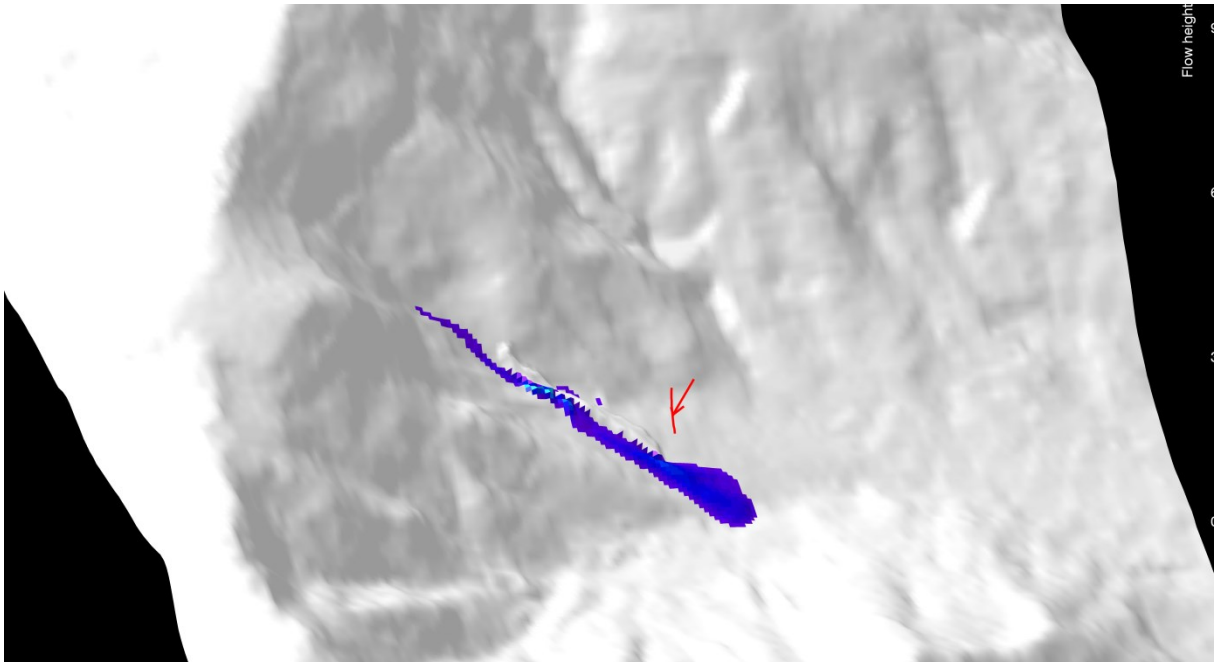
Şekil 169'da kırmızı çizgi ile gösterilen yer kayak merkezidir. Yine aynı şekilde sarı çizgi ile yuvarlak içine alınan yerde 15 metre yüksekliğe sahip saptırma duvarı açıkça görülebilmektedir. Bu yapılan analizler ve çığın akma görüntüleri üç boyutlu görüntü olarak Şekil 170, Şekil 171 ve Şekil 172'de gösterilmiştir.



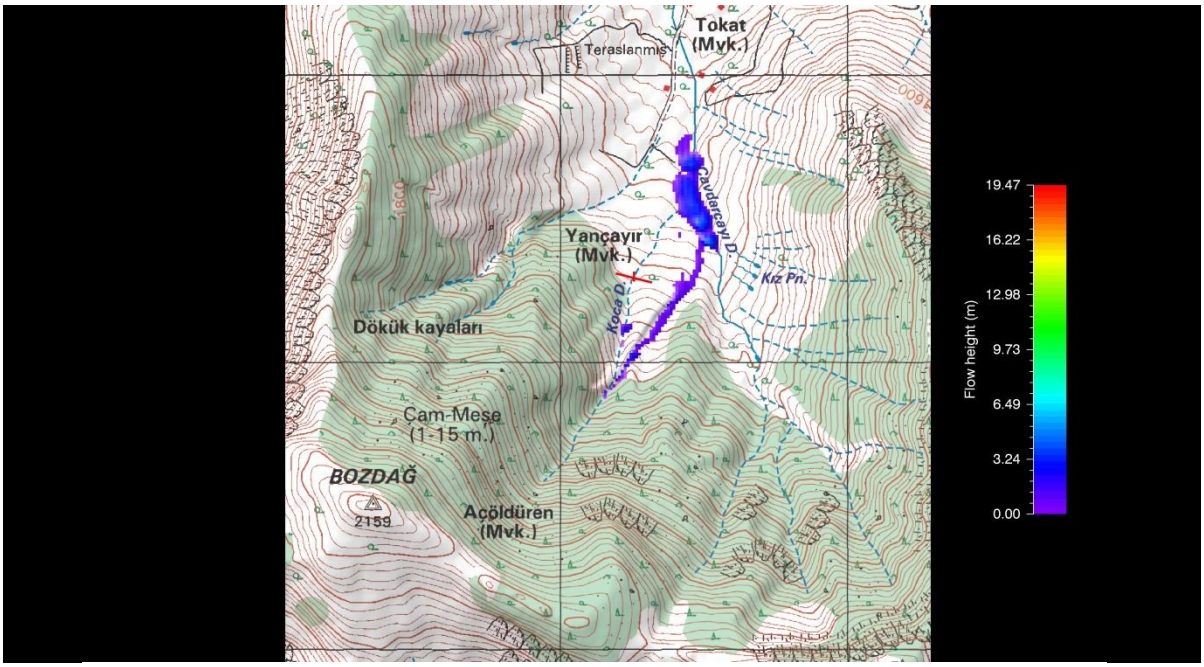
Şekil 170. Çığın saptırma duvarına çarptığı andan bir görüntü

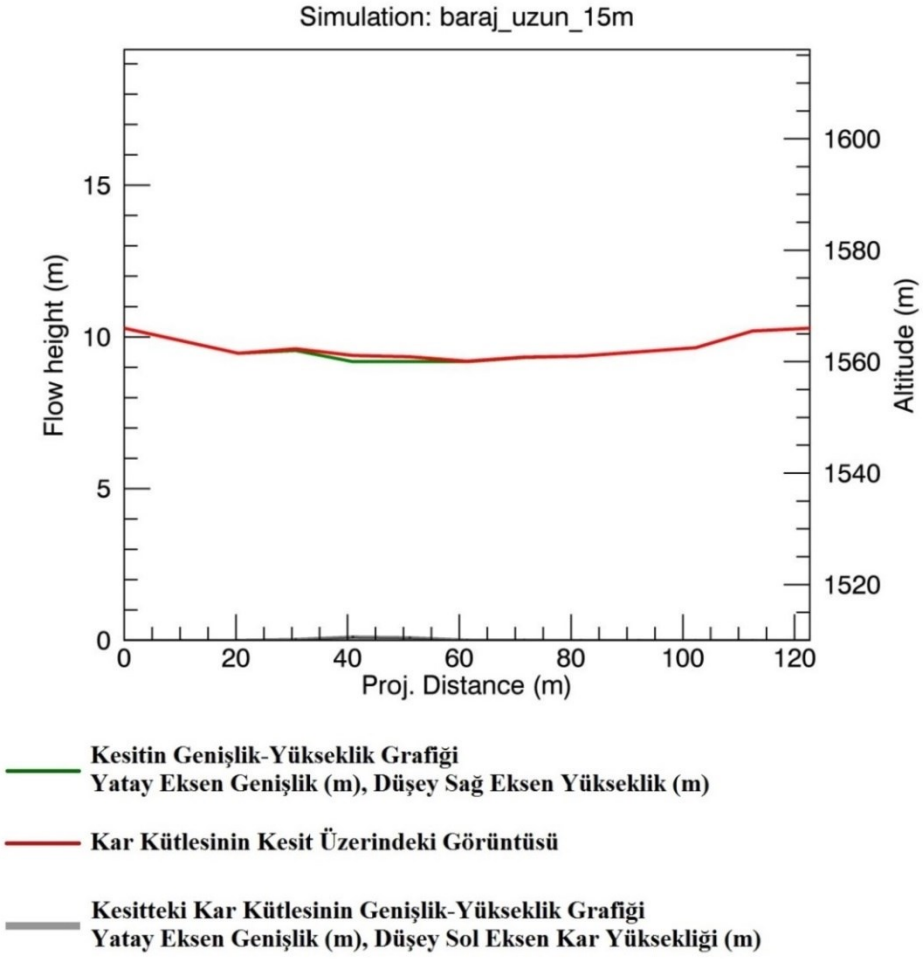


Şekil 171. Saptırma barajında oluşan birikimler ve yönü değişen çığ simülasyonunun görüntüsü



Şekil 172. Saptırma barajının etkisiyle kayak merkezini etkilemeyen çığ akışının üç boyutlu görüntüsü

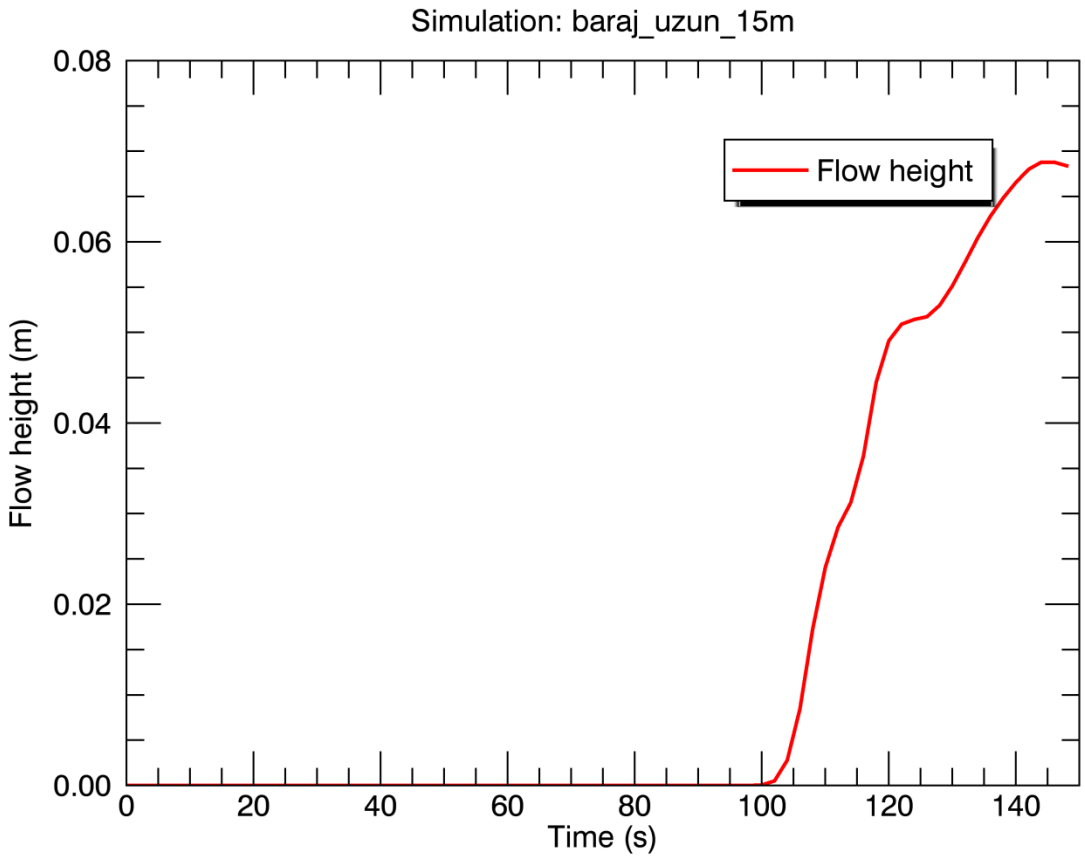




Şekil 173. Akan çığ kütlesinin kayak merkezine geldiği anın çığ yüksekliği sonuçları ve görseli (15m'lik saptırma barajı var.)

15 metre yüksekliğe sahip saptırma barajının analizlerinde kayak merkezinin orta noktasından alınan zamana bağlı çığ yüksekliği ve kayak merkezinin profili için çığ yüksekliği sonuçları Şekil 173'te sunulmuştur.

Şekil 173'te görülebileceği gibi 15 metrelik saptırma barajının etkisiyle neredeyse tüm akan çığ kütlesinin yönünün değiştiği görülmektedir. Aynı şekildeki grafikle gösterilen sonuçlar incelenirse kayak merkezine etki eden çığ yüksekliğinin neredeyse olmadığı ve çok etkisiz olduğu görülmektedir.

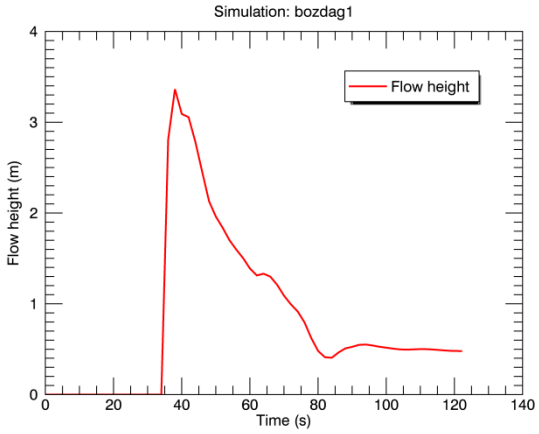


Şekil 174. Kayak merkezinin orta noktasında çığ yüksekliğinin zamana göre değişimi (15 metrelik saptırma barajı var.)

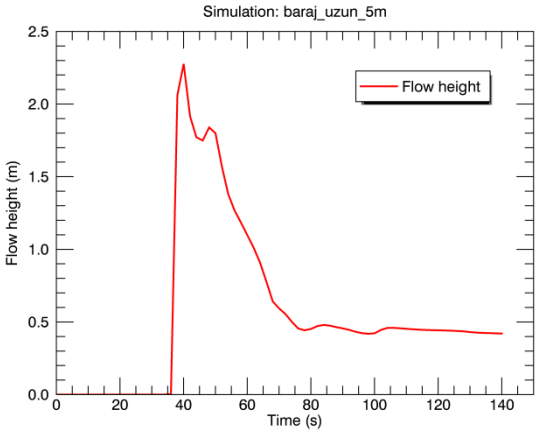
Şekil 174'te kayak merkezinin ortası için çığ yüksekliğinin zamana bağlı değişimi incelenirse çığın kayak merkezine ulaşma zamanının oldukça ötelendiği ve yüksekliğinin de oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

Yapılan saptırma duvarı incelemelerinde barajın yüksekliğinin kayak merkezine etki eden çığ yüksekliğinde önemli ölçüde etkili olduğu görülmüştür. Duvar yüksekliğine bağlı olarak çığın yönünün değiştirilebileceği, normalde çığ hattında bulunan yapıların korunabileceği

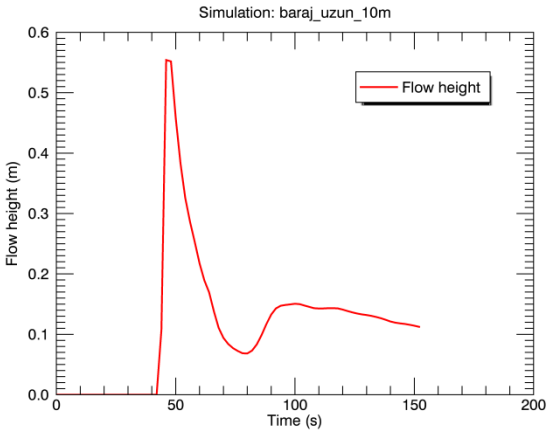
görülmüştür. Saptırma duvarı yüksekliğinin akış hattında bulunan yapıya gelen kar yüksekliği üzerindeki etkisi Şekil 175' te verilen grafiklerin karşılaştırılmasından görülebilmektedir.



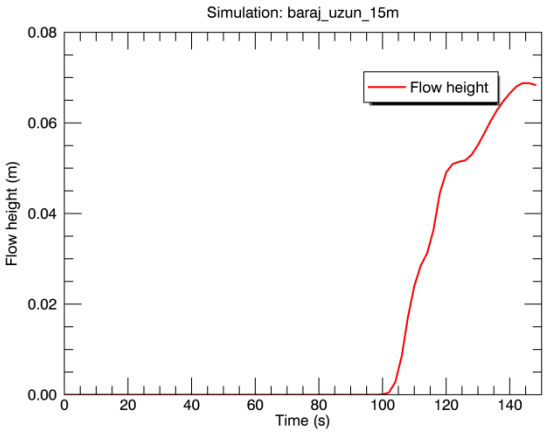
Saptırma barajı yok



5 metre yüksekliğinde saptırma barajı



10 metre yüksekliğinde saptırma barajı



15 metre yüksekliğinde saptırma barajı

Şekil 175. Kayak merkezindeki çığ yüksekliklerinin zamana bağlı değişimlerinde saptırma barajının etkileri

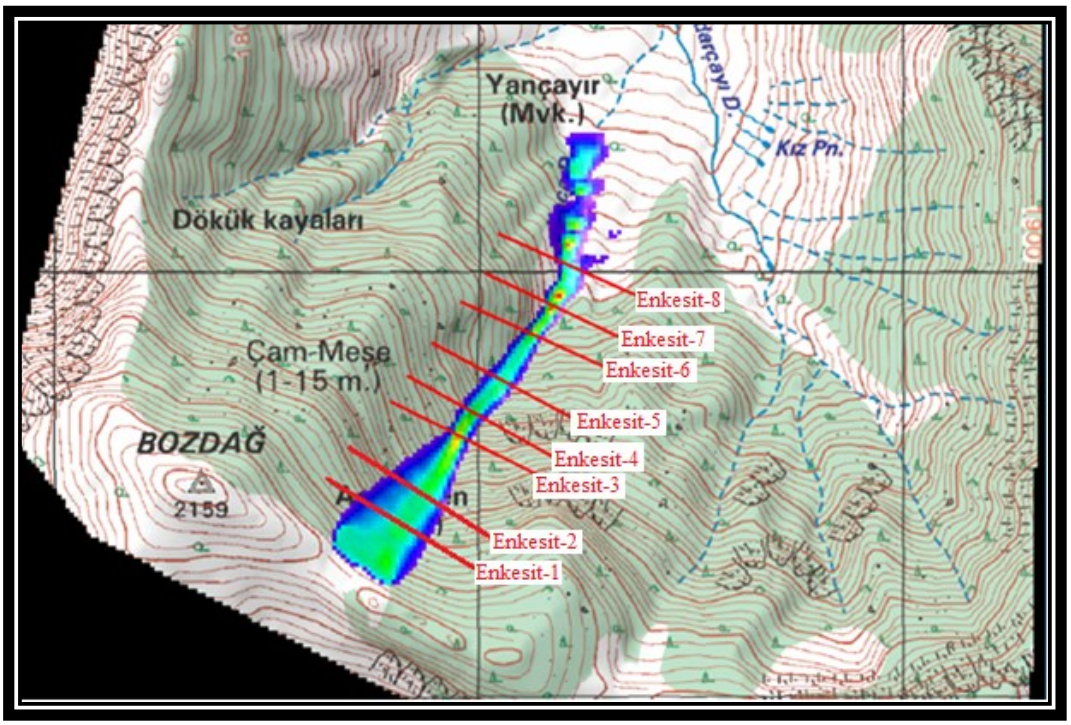
Şekil 175 'den anlaşılacağı üzere duvar olmaması durumunda doğrudan kayak merkezine gelen çığın kayak merkezine ulaşma süresi yaklaşık 34 saniye sürmektedir. Bununla birlikte 5m, 10m ve 15m saptırma duvarlarının etkisiyle çığ kütlesinin kayak merkezine varma süresi yaklaşık 36 sn, 42 sn ve 100 saniye olarak görülmüştür. Yine aynı grafiklerden kayak merkezine etki eden maksimum çığ yüksekliklerinin de giderek azalım gösterdiği görülmüştür.

4.2.2 Sayısal Yükseklik Modelindeki Çözünürlüğün Program Sonuçlarına Etkisi

RAMMS programı ile yapılan analizlerde Sayısal Yükseklik Modeli Çözünürlüğü 'nün etkisinin anlaşılabilmesi için CBS programı vasıtası ile kenar uzunlukları 10 m X 10 m (pixel size) ve 20 m X 20 m (pixel size) olacak şekilde farklı büyüklükte hücrelere sahip (dolayısıyla farklı çözünürlüklerde) ASCII formatında 2 adet dosya oluşturulmuştur. Bu dosyalar RAMMS programında aynı çığ kopma bölgesinde denenerek elde edilen sonuçlar ve farklılıklar bu bölümde sunulmuştur.

RAMMS program analizi yapılırken belirlenen çığ kopma bölgesi için farklı kar kopma derinlikleri (h=1.60m, h=1.20m ve h=0.80m) ve sabit kar yoğunluğu (400 kg/m^3) değeri program girdisi olarak kullanılmıştır. Sayısal çığ analizleri için Çığ Tekerrür Periyodu ise 30 yıl olarak alınmış ve analizler bu girdiler ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 20 ve Tablo 21'de özetlenmiştir.

Yapılan analizlerde çalışılan çığ hattı boyunca hız ve basıncın değişimini görmek amacıyla 8 farklı enkesit seçilmiş olup bunların yerleşimi Şekil 176'da gösterilmiştir.



Şekil 176 Çalışılan çığ güzergahı için seçilen enkesit yerleri

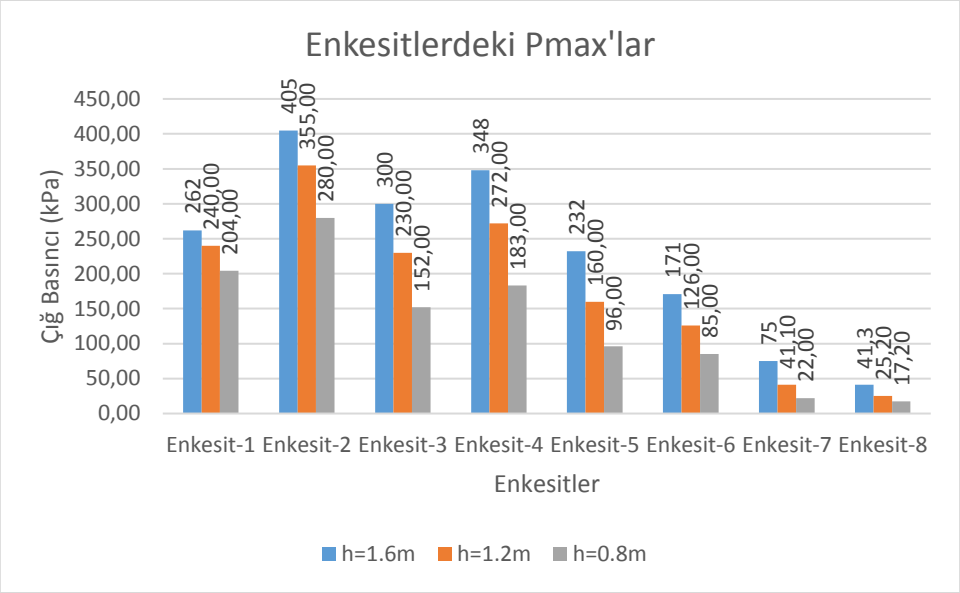
Tablo 20 400 kg/m3 yoğunluğa sahip 10x10 çözünürlükteki DEM dosyası sonuçları

h=1.60m Kopma Derinliğine Sahip Analiz Sonuçları		
Enkesitler	Maksimum Hız, V_{max} (m/s)	Maksimum Basınç, Pmax (kPa)
Enkesit-1	25,60	262,00
Enkesit-2	31,80	405,00
Enkesit-3	27,20	300,00
Enkesit-4	29,20	348,00
Enkesit-5	24,10	232,00
Enkesit-6	20,80	171,00
Enkesit-7	13,50	75,00
Enkesit-8	10,20	41,30
h=1.20m Kopma Derinliğine Sahip Analiz Sonuçları		
Enkesitler	Maksimum Hız, V_{max} (m/s)	Maksimum Basınç, P_{max} (kPa)
Enkesit-1	24,50	240,00
Enkesit-2	29,80	355,00
Enkesit-3	24,10	230,00
Enkesit-4	26,10	272,00
Enkesit-5	20,00	160,00
Enkesit-6	17,80	126,00
Enkesit-7	10,20	41,10
Enkesit-8	8,00	25,20
h=0.80m Kopma Derinliğine Sahip Analiz Sonuçları		
Enkesitler	Maksimum Hız, V_{max} (m/s)	Maksimum Basınç, P_{max} (kPa)
Enkesit-1	22,50	204,00
Enkesit-2	26,30	280,00
Enkesit-3	19,50	152,00
Enkesit-4	21,30	183,00
Enkesit-5	15,50	96,00
Enkesit-6	14,50	85,00
Enkesit-7	7,50	22,00
Enkesit-8	6,60	17,20

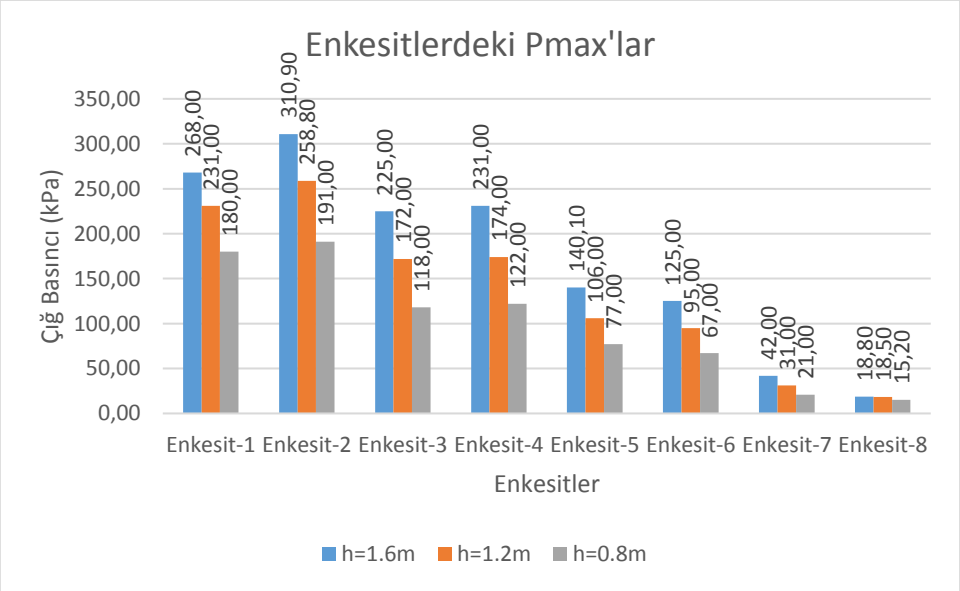
Tablo 21 400 kg/m3 yoğunluğa sahip 20x20 çözünürlükteki dem dosyası sonuçları

h=1.60m Kopma Derinliğine Sahip Analiz Sonuçları		
Enkesitler	Maksimum Hız, V_{max} (m/s)	Maksimum Basınç, P_{max} (kPa)
Enkesit-1	26,00	268,00
Enkesit-2	27,80	310,90
Enkesit-3	23,70	225,00
Enkesit-4	24,00	231,00
Enkesit-5	18,80	140,10
Enkesit-6	17,70	125,00
Enkesit-7	10,50	42,00
Enkesit-8	6,80	18,80
h=1.20m Kopma Derinliğine Sahip Analiz Sonuçları		
Enkesitler	Maksimum Hız, V_{max} (m/s)	Maksimum Basınç, P_{max} (kPa)
Enkesit-1	24,00	231,00
Enkesit-2	25,40	258,80
Enkesit-3	20,70	172,00
Enkesit-4	21,00	174,00
Enkesit-5	16,20	106,00
Enkesit-6	15,50	95,00
Enkesit-7	8,70	31,00
Enkesit-8	6,80	18,50
h=0.80m Kopma Derinliğine Sahip Analiz Sonuçları		
Enkesitler	Maksimum Hız, V_{max} (m/s)	Maksimum Basınç, P_{max} (kPa)
Enkesit-1	21,10	180,00
Enkesit-2	21,80	191,00
Enkesit-3	17,10	118,00
Enkesit-4	17,40	122,00
Enkesit-5	13,80	77,00
Enkesit-6	13,00	67,00
Enkesit-7	7,30	21,00
Enkesit-8	6,15	15,20

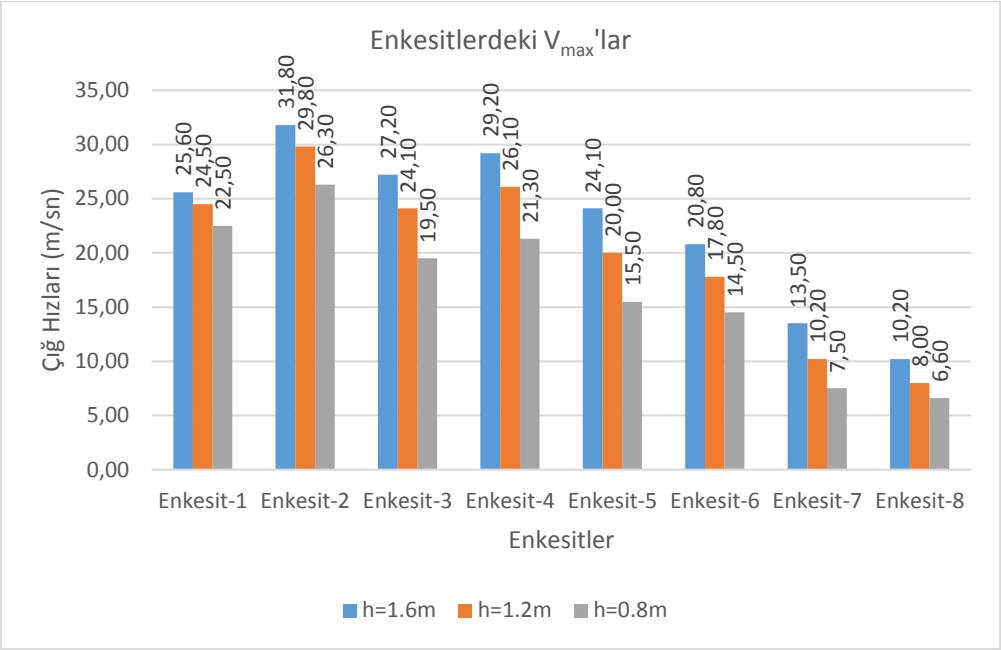
Tablo 20 ve Tablo 21'den elde edilen çığ basınç değerleri karşılaştırma kolaylığı açısından bir bar grafiği ile Şekil 177 ve Şekil 178'de gösterilmiştir. Yine aynı tablolardan elde edilen çığ hızı değerleri Şekil 179 ve Şekil 180'de grafiksel olarak sunulmuştur.



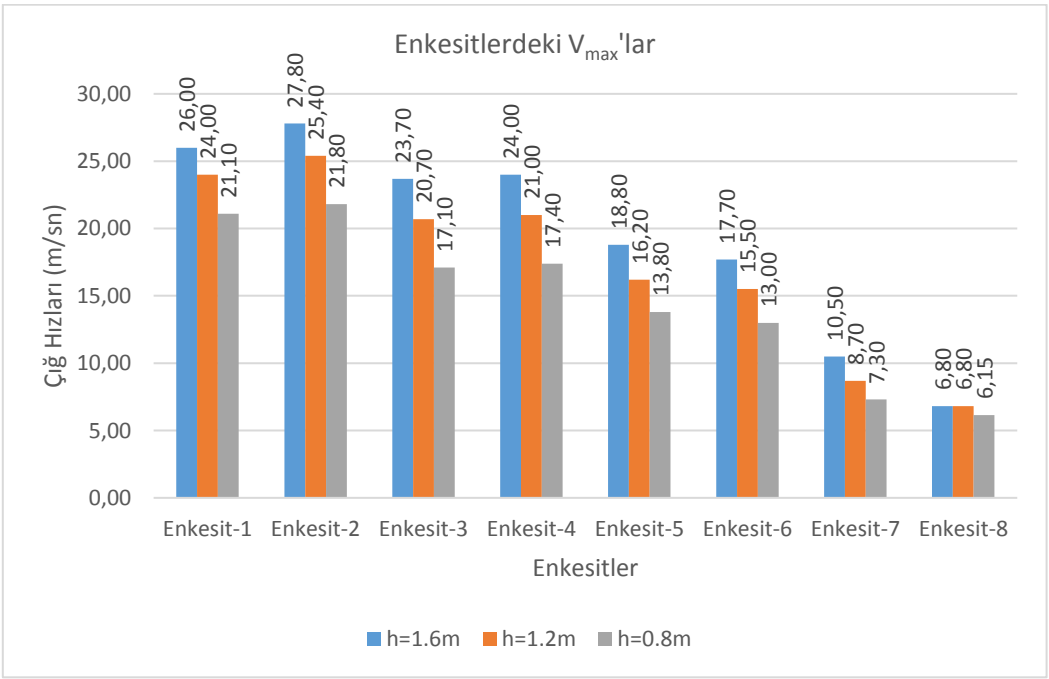
Şekil 177 10 m X 10 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum basınçlar



Şekil 178 20 m X 20 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum basınçlar



Şekil 179 10 m X 10 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar



Şekil 180 20 m X 20 m hücreli haritada 400 kg/m3 yoğunluklu kar için 1,60 m, 1,20 m ve 0,80 m kopma derinliği ile başlatılan çığdan elde edilen enkesitlerdeki maksimum hızlar

Şekil 177 ve Şekil 178'de farklı kopma derinlikleri ile sırasıyla 10x10 metre hücreli ve 20x20 metre hücreli çözünürlüğe sahip DEM dosyaları kullanılarak RAMMS programından elde

edilen 8 farklı enkesitteki maksimum basınç sonuçları değerlendirildiğinde daralan kesitlerde basınçların yükseldiği, genişleyen kesitlerde basınç değerlerinin düştüğü, çözünürlük arttıkça hesaplanan maksimum basınç değerlerinin genel olarak yükseldiği, ilk enkesitten son enkesite doğru durma eğilimi kazanan çığın basınç değerlerinin de düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Buradan diğer tüm parametreler sabit tutulmak kaydıyla çözünürlüğün artması ile sonuçlarda farklılıklar oluştuğu sonucuna varmak mümkündür.

Şekil 179 ve Şekil 180'de farklı çözünürlükte elde edilen 8 farklı enkesit üzerindeki maksimum çığ hızı sonuçları karşılaştırıldığında maksimum basınç değerlerinde elde edilen sonuca benzer bir durum oluştuğu görülmektedir. Çözünürlük arttıkça aynı kesitte hesaplanan çığ hızlarında da artış görülmektedir. Aynı çözünürlükte kopma derinliği yükseldikçe aynı kesitteki çığ hızı sonuçlarının da yükseldiği bu sonuçlardan görülmektedir. Bu durum beklenen olağan bir sonuçtur.

Genel olarak programın önemli girdilerinden biri olan DEM dosyasının çözünürlüğünün artması ile sonuçların daha hassas elde edildiği bilinmektedir. Bu nedenle uygulamacılar açısından değerlendirildiğinde, genellikle büyük ölçekli haritalarda yüksek çözünürlüklü DEM dosyalarının kullanımı ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte ölçeğin artması sayısal hesaplama alanının doğal olarak artmasına neden olmaktadır. Bu durum da işlem hacmini ve hesaplama süresini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle programı kullanılacak uygulamacıların DEM çözünürlüğü belirlerken bu durumları göz önüne alarak seçim yapması gerekmektedir. Bu çalışmada 1/25.000 ölçekli haritadan üretilen 10x10 ve 20x20 metre çözünürlüğe sahip DEM dosyaları ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde 10x10 metre çözünürlüğe sahip DEM dosyası seçiminin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan bu çalışma ve literatür çalışmaları incelendiğinde çözünürlük değerinin artması daha hassas sonuçlar vermekle birlikte 5x5 metre çözünürlük ve altındaki çözünürlük değerlerinin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olmadığı Christen ve diğerleri (2010) tarafından da vurgulanmıştır.

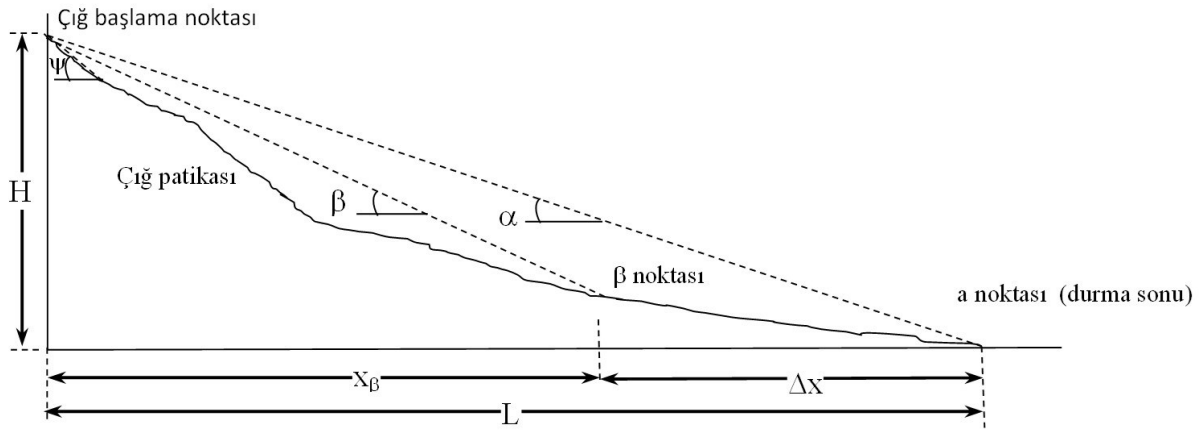
4.3 Çığ Durma Mesafesinin İstatistiksel Yaklaşımlarla İrdelenmesi

Literatürde yaygın olarak kullanılan iki istatistiksel model bulunmaktadır: Bunlar α - β Modeli ve Durma Oranı modelleridir.

α - β Modeli Lied ve Bakkehoi (1980) tarafından çığ patikaları üzerinde en küçük kareler regresyon analizi ile geliştirilmiştir. Model ekstrem (en uzun) durma noktasını (a), uzun eğimler için 10°, kısa eğimler için 24° Jones ve Jamieson (2004) ile ilişkilendirerek tahmin etmektedir.

Durma Oranı Modeli ise McClung ve Lied. (1987) tarafından ekstrem değerler istatistiği kullanılarak geliştirilmiştir. Durma Oranı Modeli için Gumbel dağılımı kullanılmalıdır. Gumbel dağılımını verecek çığ parametreleri mevcut değildir. Ayrıca literatürde yaygın olarak α - β Modeli kullanılmaktadır Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014). Bu sebeplerle bu çalışmada α - β Modeli kullanılmıştır.

α - β modeli, iyi bilinen çığ patikalarından ölçümler alınarak Norveç Geoteknik Enstitüsünde geliştirilmiş bir modelleme çalışmasıdır. Modelde dört topografik parametrenin çığ durma noktasının hesaplanmasında kritik olduğu gerçeğinden yola çıkılmıştır. Bu parametreler düşey düşme yüksekliği H, başlama bölgesinin eğimi Ψ, çığ patikasının ortalama eğimi β ve çığ patikasının boyuna profilini temsil eden çizgiden (y ile ifade edilen patikanın ikinci derece türevi) oluşmaktadır. Yapılan analizler neticesinde çığ patikasının ortalama eğiminin β, durma noktası hesabında en önemli parametre olduğu görülmüştür. Böylelikle istatistiksel olarak geçerliliği ortaya koyulan formül iki parametreden oluşmaktadır.



Şekil 181. Alfa–Beta modelinde kullanılan parametrelerin tanımı Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014)

Birtakım araştırmacılar McClung ve Mears (1991); Nixon ve McClung (1993); Delparte ve diğerleri (2008); Johnston ve diğerleri (2011); Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014) mevcut veri tabanlarını kullanıp α - β modeli katsayılarını hesaplayarak modelin doğruluğunu korelasyon katsayısı ile irdelemişlerdir (Tablo 22).

Tablo 22. İstatistiksel Model Parametreleri Özeti

Araştırmacılar	**Bölge**	**Alfa Beta**	**R^2**	**Standart hata**	**Veri sayısı, n**

Lied ve Bakkehoi (1980)	Norveç Dağları	$\alpha = 0.98\beta - 1.2°$	0.90	2.44	275
McClung ve Mears, (1991)	Rocky ve Purcell Dağları	$\alpha = 0.93\beta$	0.75	1.75	126
Nixon ve McClung, (1993)	Coast Dağları	$\alpha = 0.90\beta$	0.74	1.70	20
Delparte vd., (2008)	Columbia Dağları	$\alpha = 0.93\beta$	0.89	1.10	35
Johnston vd., (2011)	Columbia Dağları	$\alpha = 0.91\beta + 0.34°$	0.92	1.20	31
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	Avusturya Alpleri	$\alpha = 0.946\beta - 0.83°$	0.92	1.50	80



Şekil 182. Statistiksel model irdelemesinde kullanılan çığ patikası

Pilot bölge üzerinde proje başlangıç zamanından günümüze çığ oluşmamıştır. Fakat daha önce çığ gerçekleştiğini bildiğimiz patika istatistiksel çığ modellemesi için seçilmiştir (Şekil 182). Çığın başlangıç kotu 2054 m'dir. Bu patikaya ait boy profil Şekil 183'te gösterilmiştir.



Şekil 183. Çığ patikası boy profili

Alfa – beta modelinin kullanılabilmesi için çığ patikasının denklemi elde edilmelidir. Bu çalışma kapsamında yukarıda seçilen çığ patikası lineer, ikinci derece polinom ve üçüncü derece polinom olmak üzere üç denklemle ifade edilmiştir (Tablo 23).

Tablo 23. Çığ patikası profili denklem çalışması

Tanım	**Denklem**	**R^2**
Lineer	$y = - 0.3187x + 1964.3$	0.943
2. derece polinom	$y = 0.0002x^2 - 0.6077x + 2044.7$	0.998
3. derece polinom	$y = -6E\text{-}8x^3 + 0.0003x^2 - 0.7315x + 2062.7$	0.999

Modelde β noktasının tespiti son derece önemlidir. Bunun için Google Earth Pro programı kullanılarak çığ patikası üzerinde eğiminin ilk kez 10°'ye ulaştığı noktanın yeri tespit edilmiştir.

β noktası – çığ başlangıç noktası yatay mesafe: 1260 m

β noktası – çığ başlangıç noktası düşey yükseklik farkı: 1537 m

Daha önce elde edilen mesafe bilgileri kullanılarak:

$$\beta = \tan^{-1}\frac{2054 - 1537}{1260}$$

β = 22.3° olarak hesaplanır.

Araştırmacılar α - β modelini geliştirirken saptadıkları hata miktarlarını belirtmişlerdir. Bu çalışmada anlamlı sonuç elde etmek için belirsizliklerin sonuç üzerindeki etkisi standart sapmayı hesaba katarak değerlendirilmiştir (Tablo 24).

Tablo 24. Alfa açısı değişkenliği

	Model	α (°)	σ (°)	α Alt Sınır (°)	α Üst Sınır (°)
Lied ve Bakkehoi (1980)	$\alpha = 0.98\beta - 1.2°$	20.7	-	-	-
	$\alpha = 0.98\beta - 1.2°$	-	2.4	18.3	-
	$\alpha = 0.98\beta - 1.2°$	-	2.4	-	23.2
McClung ve Mears, (1991)	$\alpha = 0.93\beta$	20.7	-	-	-
	$\alpha = 0.93\beta$	-	1.8	19.0	-
	$\alpha = 0.93\beta$	-	1.8	-	22.5
Nixon ve McClung, (1993)	$\alpha = 0.90\beta$	20.1	-	-	-
	$\alpha = 0.90\beta$	-	1.7	18.4	-
	$\alpha = 0.90\beta$	-	1.7	-	21.8
Delparte vd., (2008)	$\alpha = 0.93\beta$	20.7	-	-	-
	$\alpha = 0.93\beta$	-	1.1	19.6	
	$\alpha = 0.93\beta$	-	1.1		21.8
Johnston vd., (2011)	$\alpha = 0.91\beta + 0.34°$	20.6	-	-	-
	$\alpha = 0.91\beta + 0.34°$	-	1.2	19.7	-
	$\alpha = 0.91\beta + 0.34°$	-	1.2	-	22.1
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	$\alpha = 0.946\beta - 0.83°$	20.3	-	-	-
	$\alpha = 0.946\beta - 0.83°$	-	1.5	18.8	-
	$\alpha = 0.946\beta - 0.83°$	-	1.5		21.8

1. derece, 2. Derece ve 3. Derece denklemlerde iterasyon yapılarak β açılarına karşılık gelen α açılarını veren mesafeler hesaplanmıştır (Tablo 25).

Tablo 25. Örnek çığ patikası için Alfa – Beta modeli mesafeleri

		Lineer fonksiyon		2. derece fonksiyon		3. derece fonksiyon	
	α (°)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
Lied ve Bakkehoi (1980)	20.7	1516	1481	1188	1605	1841	1359
	18.3	-	-	1418	1585	-	-
	23.2	816	1704	945	1649	1356	1473
McClung ve Mears, (1991)	20.7	1516	1481	1188	1605	1841	1359
	19.0	3498	849	1351	1589	-	-
	22.5	939	1665	1013	1634	1470	1445
Nixon ve McClung, (1993)	20.1	1898	1359	1246	1598	2021	1314
	18.4	-	-	1408	1586	-	-
	21.8	1104	1613	1082	1621	1597	1415
Delparte vd., (2008)	20.7	1516	1481	1188	1605	1841	1359
	19.6	2399	1200	1294	1593	2260	1249
	21.8	1104	1613	1082	1621	1597	1415
Johnston vd., (2011)	20.6	1568	1464	1198	1604	1867	1352
	19.7	2279	1238	1284	1594	2197	1267
	22.1	1027	1637	1052	1627	1541	1428
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	20.3	1752	1406	1227	1600	1954	1331
	18.8	4128	649	1370	1588	-	-
	21.8	1104	1613	1082	1621	1597	1415

Elde edilen çığ durma noktasının yerinin geçerliliği ortaya koyulmalıdır. Bunun için öncelikle β noktası yatay mesafesinden küçük olan x değerlerinin model ilkeleri dışında olduğunu belirtmek gerekir. Topografik şartlar nedeniyle çığ patikasının yatayda 1700 m'den daha fazla durma mesafesine sahip olması mümkün değildir. Bu sebeple Tablo 25 incelendiğinde bu iki şartı sağlamayan değerler kırmızı renk ile gösterilmiştir. Yine Tablo 25'te iterasyonun başarısız olduğu satırlarda değer verilmemiştir.

Farklı katsayıdaki Alfa – beta modelinin mümkün sonuçları çığ patikası denkleminin ifadesine göre Tablo 26'da sunulmuştur.

Tablo 26. Örnek çığ patikası için olası alfa-beta modeli sonuçları

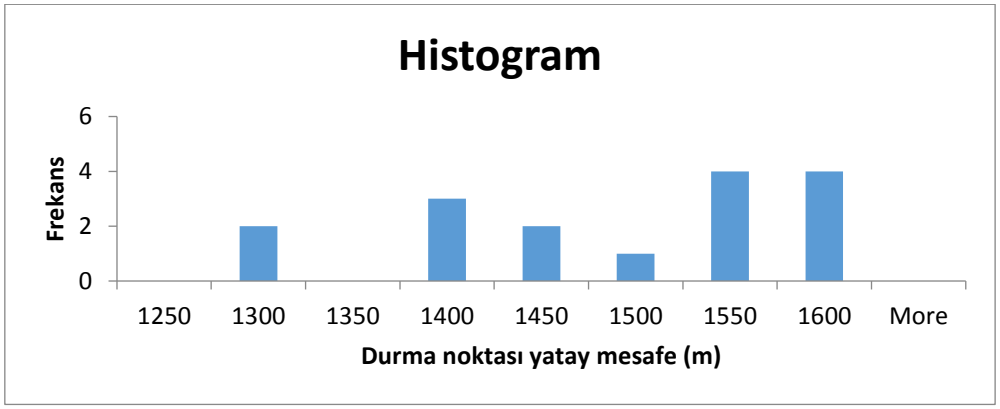
	Fonksiyon	x (m)	y (m)
Lied ve Bakkehoi (1980)	1. derece	1516	1481
McClung ve Mears (1991)	1. derece	1516	1481
Delparte ve diğerleri (2008)	1. derece	1516	1481
Johnston ve diğerleri (2011)	1. derece	1568	1464
Lied ve Bakkehoi (1980)	2. derece	1418	1585
McClung ve Mears (1991)	2. derece	1351	1589
Nixon ve McClung (1993)	2. derece	1408	1586
Delparte ve diğerleri (2008)	2. derece	1294	1593
Johnston ve diğerleri (2011)	2. derece	1284	1594
Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014)	2. derece	1370	1588
Lied ve Bakkehoi (1980)	3. derece	1356	1473
McClung ve Mears (1991)	3. derece	1470	1445
Nixon ve McClung (1993)	3. derece	1597	1415
Delparte ve diğerleri (2008)	3. derece	1597	1415
Johnston ve diğerleri (2011)	3. derece	1541	1428
Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014)	3. derece	1597	1415

Elde edilen sonuçlar üzerinde aşağıdaki tamamlayıcı istatistik bilgilerinden söz edilebilir (Tablo 27). Durma noktasının yatay mesafesinin olası sonuçlarına ait histogramı Şekil 184'te aktarılmıştır.

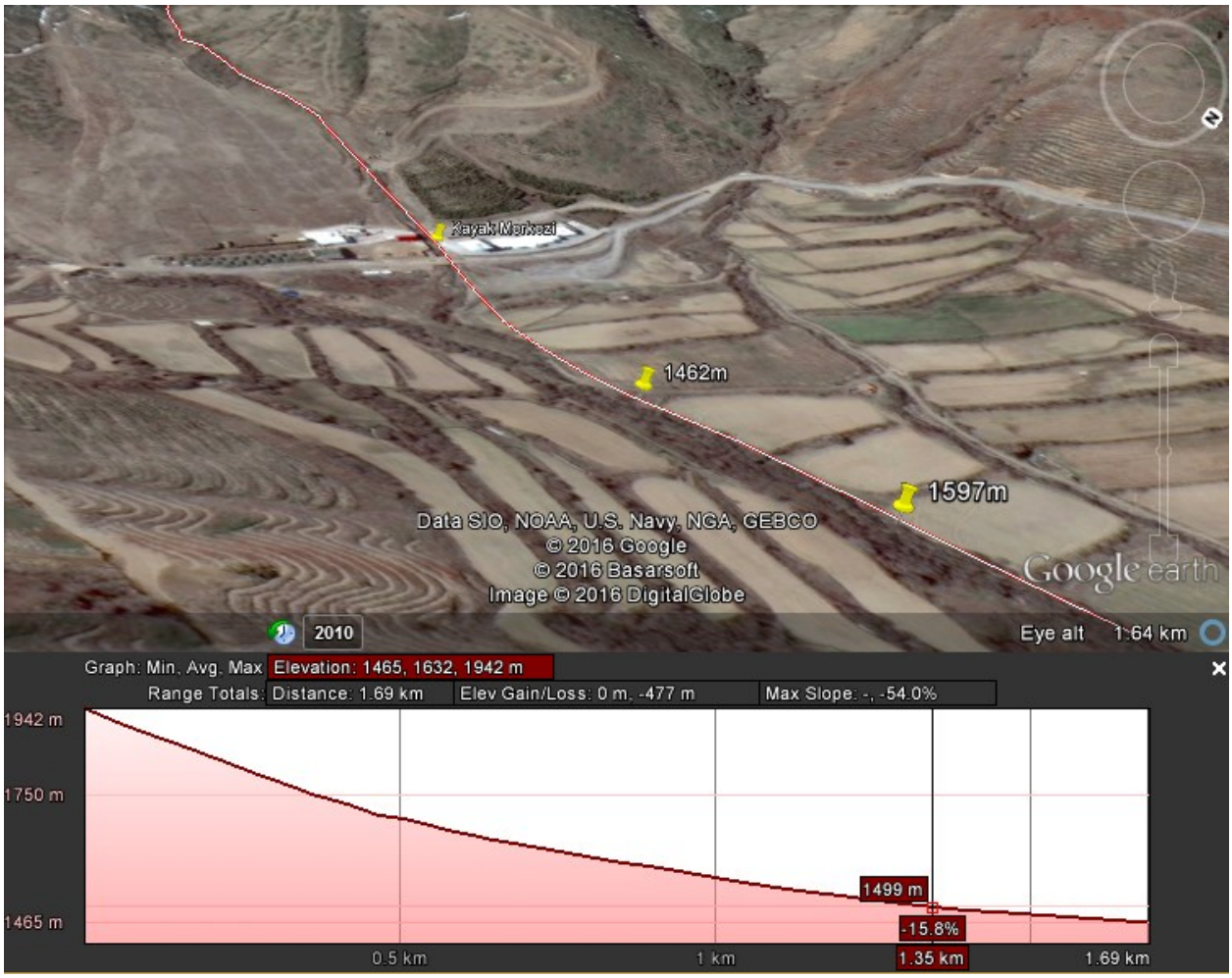
Seçilen çığ patikası için durma noktası yatay mesafe 1284 m ile 1596 m arasında değişmektedir. 1284 m çığ durma yatay mesafesi, çığ patikasının 2. Derece polinom ile temsil edilen ve Johnston ve diğerleri (2011) tarafından geliştirilen modele aittir. 1596 m yatay mesafe ise çığ patikasının 3. Derece polinom ile temsil edildiği ve Nixon ve McClung (1993), Delparte ve diğerleri (2008), Rudolf-Miklau ve diğerleri (2014) modellerine aittir. Üç araştırmacının geliştirdiği model katsayıları aynı mesafeyi vermiştir. Farklı alfa – beta modellerinin ortalama yatay durma mesafesi 1462 m, maksimum durma yatay mesafesi ise 1597 m'dir (Şekil 185). 1462 m olarak belirtilen nokta durma noktası açısından arazi topografik özellikleriyle uyum içerisindedir.

Tablo 27. Olası alfa-beta modeli tanımlayıcı istatistik parametreleri

Tanım	Değer
Ortalama	1462.473
Standart hata	27.18852
Medyan	1492.961
Mod	1515.748
Standart Sapma	108.7541
Varyans	11827.45
Eğiklik	-1.32578
Çarpıklık	-0.27314
Aralık	312.5525
Minimum	1284.443
Maksimum	1596.996
Toplam	23399.57
Sayı	16



Şekil 184. Çığ patikası boy profili



Şekil 185. Ortalama yatay durma (1462 m) ve maksimum durma (1597 m) mesafesinin patika üzerinde yeri

İstatistiksel model çalışması sonuçları ile RAMMS programından elde edilen sonuçlar Senaryo 2 ve Senaryo 3 üzerinde karşılaştırılmıştır. Çünkü aynı çığ patikası üzerinde yer alan farklı kopma bölgeleri barındırmaktadırlar. Oysa istatistiksel modelin çalışma prensibinde kopma bölgesi tanımlaması yoktur. RAMMS çalışmalarında Senaryo 2 ve Senaryo 3'ten elde edilen durma mesafesi sonuçları istatiksel modelin patikası üzerinde ölçülmüştür (Tablo 28). İstatistiksel model çalışmalarından 2 No'lu patika üzerinde oluşacak çığın ortalama yatay durma mesafesi 1462 m, maksimum durma yatay mesafesi ise 1597 m olarak hesaplanmıştır. Tablo 28 incelendiğinde Senaryo 2 için minimum durma mesafesi 2100 m'dir. Dolayısıyla Senaryo 2 sonuçları istatistiksel model sonuçlarından yüksek durma mesafesi hesaplamaktadır. Bunun nedeni Senaryo 2 için seçilen kopma bölgesinin büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Senaryo 3 durma mesafesi sonuçları genel anlamda istatistiksel model sonuçları ile uyum içerisindedir. İstatistiksel modelin ürettiği ortalama durma mesafesine en yakın sonucu 1460-1480 m aralığında veren S3-H125-Tr30, S3-H125-Tr100, S3-H150-Tr10, S3-H150-Tr30 nolu analizler olarak tespit edilmiştir. İstatistiksel model maksimum durma mesafesine en yakın sonucu ise 1510-1530 m aralığında veren S3-H125-

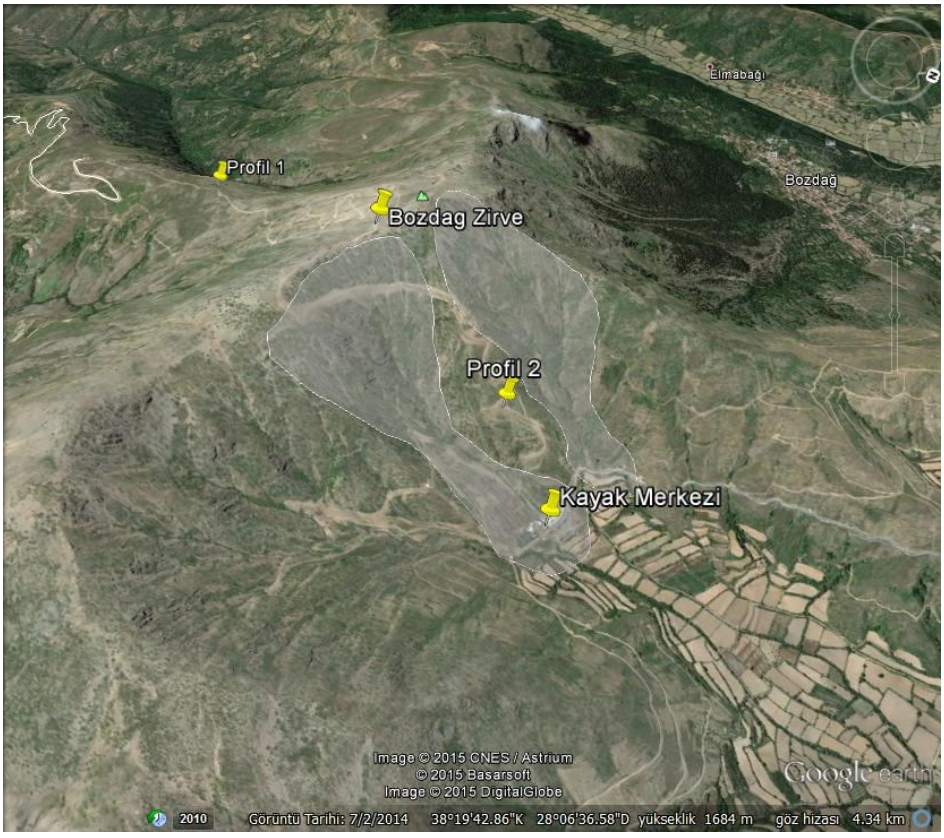
Tr300, S3-H150-Tr100, S3-H150-Tr300 nolu analizler olarak tespit edilmiştir. Maksimum durma mesafesi dikkate alındığında 300 yıllık tekerrür periyodunda kopma derinliğinin 125 ve 150 cm olduğu senaryolar ve 100 yıllık tekerrür periyodunda kopma derinliğinin 150 cm olduğu senaryo istatistiksel model ile uyum içerisindedir. İstatistiksel ve dinamik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde muhtemel kopma derinliğinin 125-150 cm civarında olduğu anlaşılmaktadır. Dinamik model sonuçlarında elde edilen maksimum çığ yüksekliği, çığ basıncı ve çığ hızı istatistiksel modelde elde edilememektedir.

Tablo 28. İstatistiksel model patikası üzerinde Senaryo 2 ve Senaryo 3 durma mesafeleri

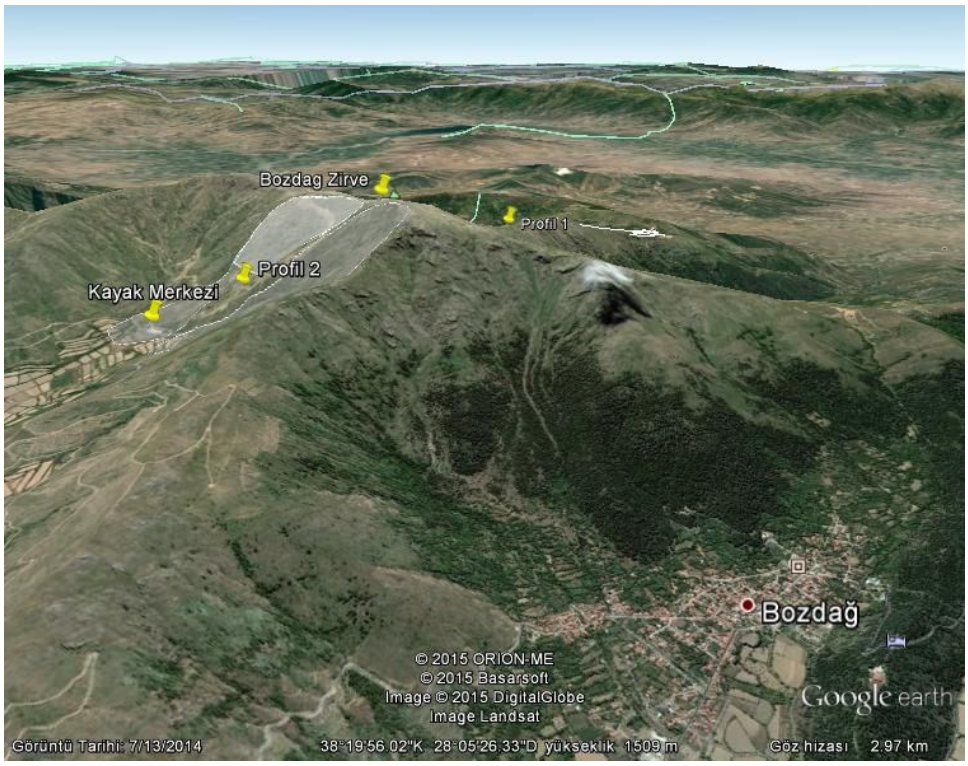
Senaryo 2		**Senaryo 3**	
Analiz Numarası	**Durma Mesafesi (m)**	**Analiz Numarası**	**Durma Mesafesi (m)**
S2-H50-Tr300	2280	S3-H50-Tr300	1340
S2-H50-Tr100	2230	S3-H50-Tr100	1300
S2-H50-Tr30	2150	S3-H50-Tr30	1230
S2-H50-Tr10	2100	S3-H50-Tr10	1200
S2-H75-Tr300	2360	S3-H75-Tr300	1420
S2-H75-Tr100	2330	S3-H75-Tr100	1400
S2-H75-Tr30	2250	S3-H75-Tr30	1390
S2-H75-Tr10	2210	S3-H75-Tr10	1380
S2-H100-Tr300	2530	S3-H100-Tr300	1430
S2-H100-Tr100	2500	S3-H100-Tr100	1400
S2-H100-Tr30	2460	S3-H100-Tr30	1400
S2-H100-Tr10	2420	S3-H100-Tr10	1390
S2-H125-Tr300	2590	S3-H125-Tr300	1510
S2-H125-Tr100	2510	S3-H125-Tr100	1470
S2-H125-Tr30	2470	S3-H125-Tr30	1460
S2-H125-Tr10	2430	S3-H125-Tr10	1400
S2-H150-Tr300	2730	S3-H150-Tr300	1530
S2-H150-Tr100	2680	S3-H150-Tr100	1510
S2-H150-Tr30	2580	S3-H150-Tr30	1480
S2-H150-Tr10	2520	S3-H150-Tr10	1470

4.4 Arazide Yapılan Kar Profili Çalışmaları

Kış sezonlarında proje süresi içerisinde araziye yapılan ziyaretlerde mümkün olduğu kadar yukarı kotlardaki kar örtüsünden profil alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kar profili uygulaması çalışma alanı olarak seçilen İzmir-Ödemiş yakınlarında bulunan Bozdağ üst kotlarıdır. İlk profil (Şekil 186'da gösterilen, Profil 1) dağın güney yamacından, ikinci profil ise Şekil 186'da gösterilen, Profil 2 kuzey yamacından alınmıştır. Şekil 186 ve Şekil 187'de muhtemel çığ akış hatları harita üzerinde renklendirilmiştir. Her iki bakıdan alınan profiller özellikle yaklaşık aynı kotlardan alınmıştır.



Şekil 186. Bozdağ Kayak Merkezi ve muhtemel çığ patikaları



Şekil 187. Bozdağ batıdan görünüş

Profil alma işleminde öncelikle güvenlik tedbirinin ön planda tutulması gerekmektedir. Özellikle gündüz hava sıcaklığının ısınmaya başladığı saatlerde çığ riski bulunan bir noktada profil çalışması yapmak oldukça tehlikeli olabilir. Bu nedenle profil alma işlemi için bir kişiden fazla personel olması tercih edilmelidir.

Profil ile birlikte stabilite testi, çığ ile ilgili araştırmalarda sıkça uygulanan, detaylı ve güvenilir sonuçlar veren bir testtir. Testi yapmak için riskli yamaçlar ile aynı bakı ve eğime sahip güvenli alandaki bir yerde kar örtüsünde geniş bir çukur açılır (Şekil 188). Test yapılacak alan orman örtüsünün içinde bulunmamalıdır. Test esnasında metre, kristal kartı, büyüteç ve termometre gibi ölçüm aletleri kullanılır. İlgili aletler Başbakanlık AFAD bünyesinde bulunmaktadır.

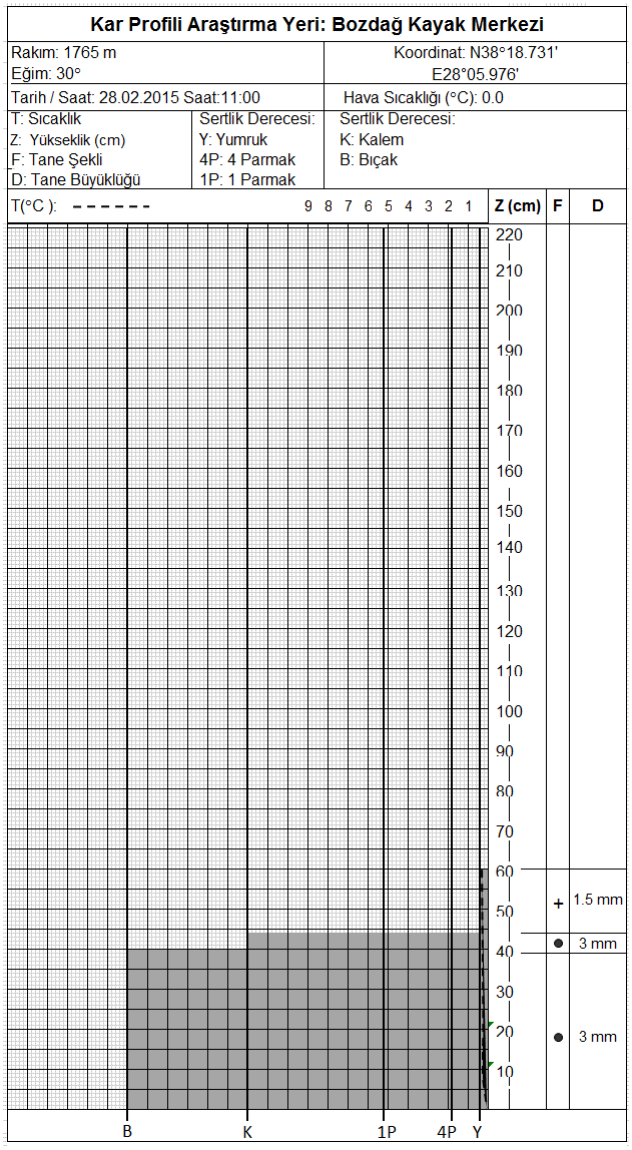


Şekil 188. Bozdağ kuzey cephede açılan kar çukuru (Dr. Erhan Tekin)

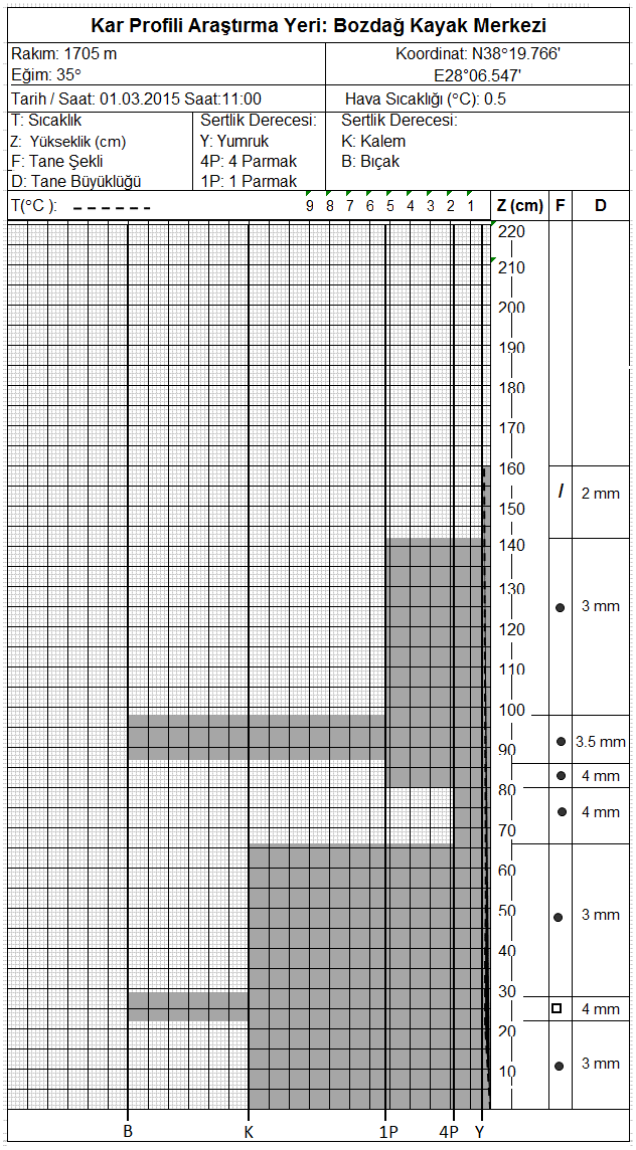


Şekil 189. Kar-su eşdeğeri ölçümü (Dr. Önder Koçyiğit)

Stabilite testi ile kar örtüsündeki kar tabakaları ortaya çıkarılıp tabakaların kalınlıkları, sertlikleri, nem içeriği, yoğunluğu ve kristal tipleri ile kar sıcaklıkları belirlenir. Arazi çalışması profil alınacak noktaya ulaştıktan sonra kar derinliğine bağlı olarak 1.5-2 saat sürmektedir. Son olarak kar örtüsünün kar-su eşdeğeri ölçümü gerçekleştirilir (Şekil 189). Arazi çalışması ile elde edilen sonuçlar, tabakaların dayanımlarının şekilsel olarak ifade edildiği "profil diyagramları" olarak gösterilir. Bu diyagramlara, ölçülen parametrelere ait değerler işaretlenir. Güney yöne bakan profil-1 Şekil 190'da, kuzey yöne bakan profil-2 ise Şekil 191'de gösterilmiştir.



Şekil 190. Bozdağ güney yüzüne ait kar profili-1



Şekil 191. Bozdağ kuzey yüzüne ait kar profili-2

4.4.1 Kar Profillerinin Yorumlanması

Profil-1'de (Şekil 190) kar derinliği 60 cm olup 3 tabakadan oluşmaktadır. En alttaki tabaka 40 cm, ikinci tabaka 3 cm ve en üstteki tabaka ise 17 cm kalınlığındadır. Kar tane büyüklükleri 1.5 mm ile 3 mm arasında değişmektedir. Tabakalardaki kar sıcaklıkları -0.5°C civarındadır. Sertlik dereceleri grafiğin en alt bölümünde B, K, 1P ve 4P olarak verilmektedir. Bu sembollerin anlamları grafik üzerinde verilmiştir. Hava sıcaklığı 0 °C olarak kaydedilmiştir.

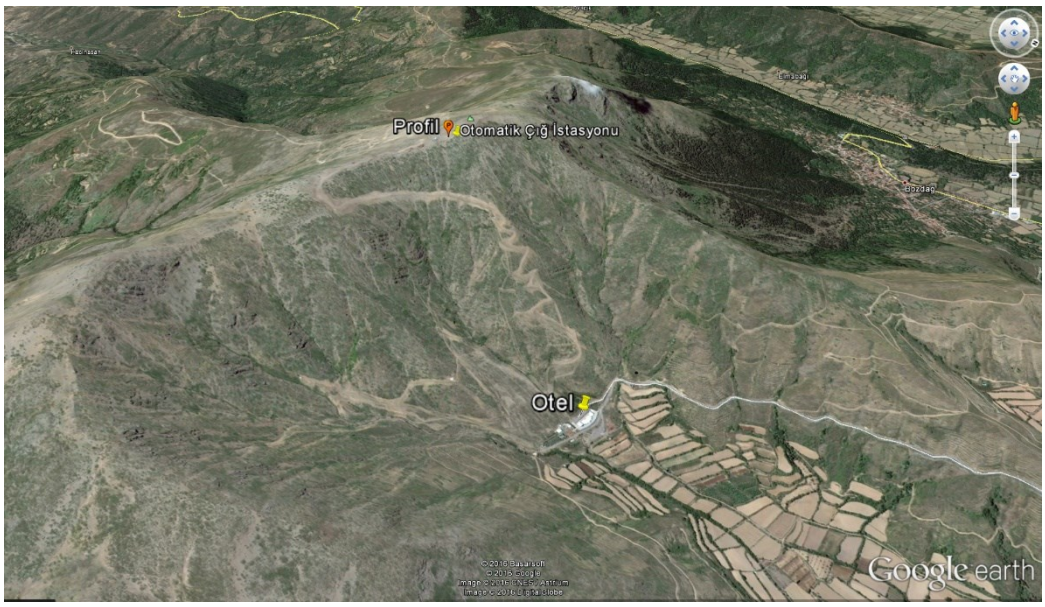
Profil-2'nin (Şekil 191) kar derinliği 160 cm olup 7 tabakadan oluşmaktadır. Tabaka kalınlıkları Şekil 191'den görülebilir. Kar tane büyüklükleri bu bakıda 4 mm'ye kadar çıkmaktadır. Tabakalardaki kar sıcaklıkları güney yamaca benzer şekilde -0.5 °C civarındadır. Hava

sıcaklığı 0.5 °C olarak kaydedilmiştir. Sertlik dereceleri kuzey yamaçta oldukça farklıdır. Zeminden itibaren özellikle ikinci ve beşinci tabakalarda çok farlı bir yapı gözlenmiştir.

Bu tabakaların kalınlıkları az (5-10 cm) sertlikleri oldukça fazladır. Genellikle bir erime döneminin hemen sonrasında ani donma olayı yaşandığında bu tür bir yapılanma gözlenmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen aynı kotlarda fakat farklı bakılardaki profiller oldukça farklı çıkmıştır. Tane şekli ve büyüklüğünü dikkate alarak tabakalar arasındaki göreceli mukavemetin değişimi çığa uygun koşulları belirlemektedir. Şekil 190 ve Şekil 191'den görüleceği üzere çığa uygun koşullar Şekil 191'de gözlenirken, Şekil 190'da böyle bir tehlike bulunmamaktadır. Bozdağ'da daha önceki yıllarda oluştuğu belirtilen çığların tamamının kuzey yamaçlarda oluşmasının nedeni de budur.

4.5 Kar Profili İle Çığ İstasyon Verilerinin İlişkisel Değerlendirilmesi

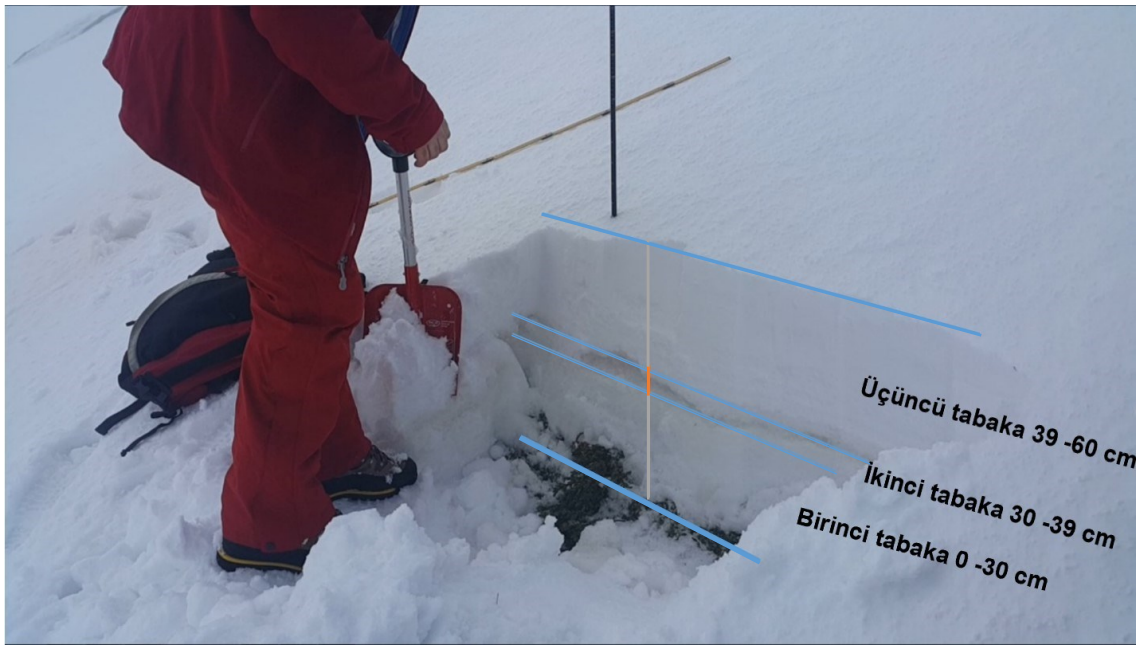
Kar profili uygulaması, kurulan istasyona yakın bir bölgede, kuzey yamacından ve çığın muhtemel başlangıç bölgesi olan bir alandan 27 Mart 2016 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Profil alınan nokta Google Earth görüntüsü üzerinde Şekil 192'de gösterilmiştir. Arazide yapılan ölçümlerden ortalama 60cm derinliğinde kar örtüsü bulunduğu tespit edilmiştir. Açık havada ara ara sis bulutu geçişi olmakta, yağışsız bir günde profil işlemi gerçekleştirilmiştir. Profil almak için açılan çukurdan üç tabakanın varlığı Şekil 193'te görülmektedir.



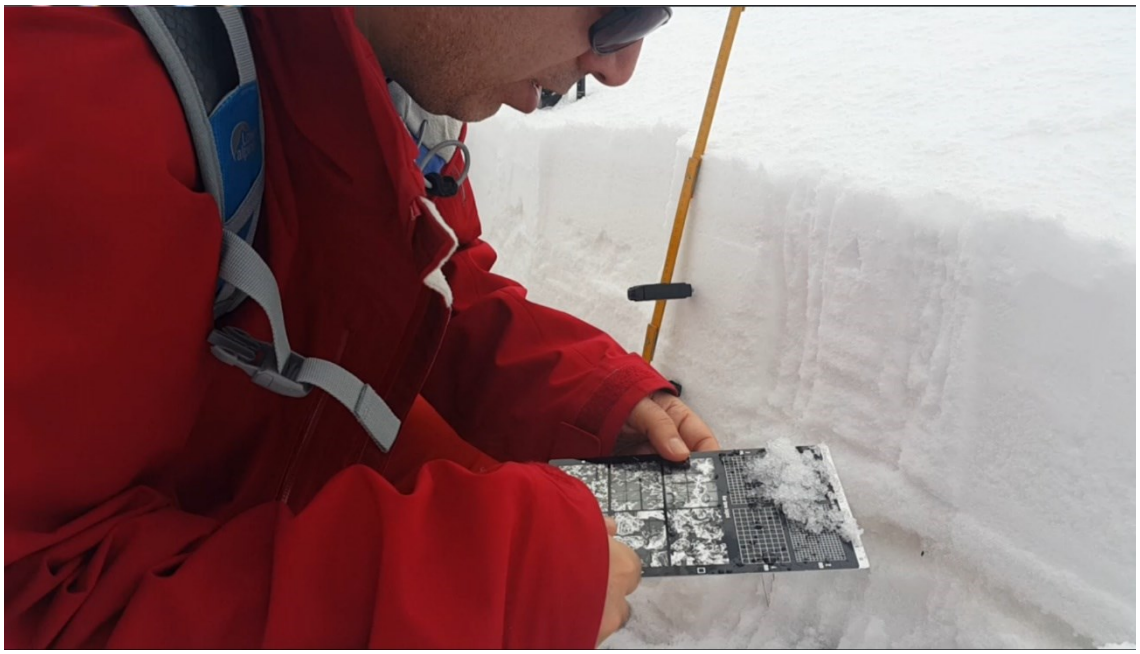
Şekil 192 Profil alınan noktanın Google Earth programında görüntüsü

Stabilite testi ile kar örtüsündeki kar tabakaları ortaya çıkarılıp tabakaların kalınlıkları, sertlikleri, nem içeriği, yoğunluğu ve kristal tipleri ile kar sıcaklıkları belirlenir (Şekil 193, Şekil

194 ve Şekil 195). Arazi çalışması ile elde edilen sonuçlar, tabakaların dayanımlarını gösterecek şekilde “profil diyagramları” olarak çizilir (Şekil 195). Önceden hazırlanmış tablo üzerine ölçülen parametrelere ait değerler işaretlenir. Kuzey yöne bakan yamaçta, 2110 m kotundan elde edilen profil Şekil 195’de gösterilmiştir.



Şekil 193 Kar profili için açılan çukur ve tabakaların görüntüsü



Şekil 194 Tabaka sertliği, nem içeriği, dane büyüklüğü, kristal tipleri ve kar sıcaklıkları ölçümleri

Profil işlenecek tablo iki kısımdan oluşmaktadır. Tablonun üst kısmında profil alınan noktanın coğrafi özellikleri, tarih, hava şartlarının kaydedileceği alanlar ve genel açıklamalar mevcuttur. Tablonun alt bölümüne ise kar örtüsüne ait ölçümler kaydedilir. Kar ile ilgili kayıtlar her bir tabaka için ayrı ölçümler alınarak çizilen grafik üzerine işlenir.

27 Mart 2016 tarihinde araziden alınan ve Şekil 195'da verilen kar profilinin yatay ekseni iki bilgiyi göstermektedir. Biri alt eksende ölçeklendirilen kar örtüsündeki tabakaların sertlik derecelerini, diğeri ise üst bölümde ölçeklendirilen tabakalardaki kar sıcaklık değerlerini gösterir. Bu profilde dikdörtgen şekilli ve içerisi taralı diyagramlar kar tabakasının ilişkili derinlikteki sertlik derecelerini göstermektedir.

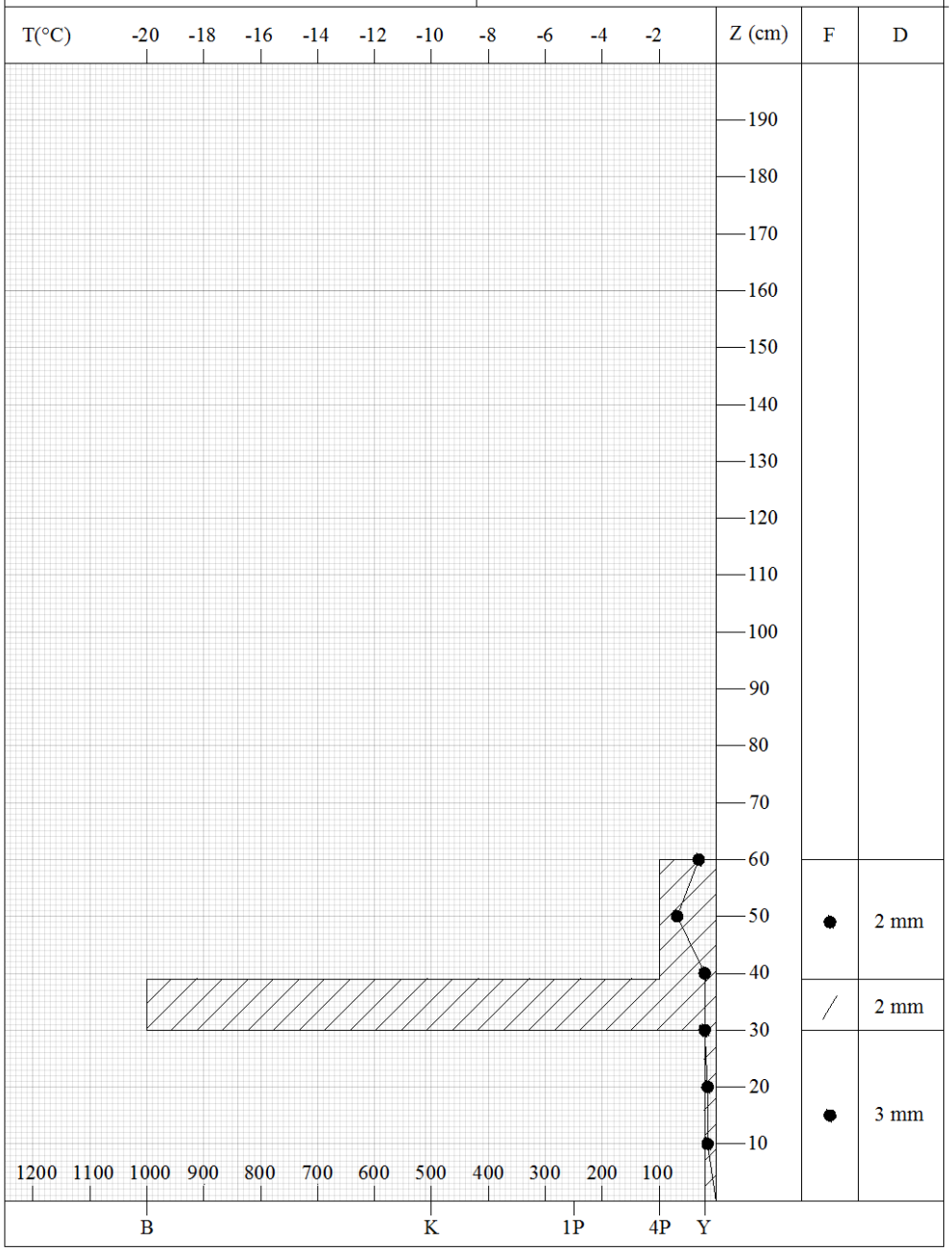
Kar profili incelendiğinde 30 cm derinlikteki birinci kar tabakasında sertlik Y(Yumruk ile sıkıştırılabilir); 30-39 cm arasındaki ikinci tabakada sertlik B (Bıçak ucu batabilir sertlikte); 39-60 cm arasındaki üçüncü tabakada sertlik ise 4B (elin dört parmağı ile sıkıştırılabilir sertlikte) şeklindedir. Üst eksenden okunan kar sıcaklıkları ise içi dolu daireler ile simgelenmiş olup her 10 cm'de ölçümler alınmıştır. Örneğin zeminden 50 cm yukarıdaki kar tabakası sıcaklığı -1.5 °C olarak kaydedilmiştir. Profilin düşey ekseni zeminden itibaren kar yüksekliğini ifade etmektedir. Düşey eksenin sağ bölgesinde ise kar tabakalarına ait kar kristallerinin dane şekli ve büyüklükleri kayıt altına alınmaktadır. Kar kristallerinin dane şekli ve büyüklükleri önceden hazırlanmış kar tablasındaki (Şekil 194) örneklerden belirlenerek profile işlenir.

Şekil 195'de verilen kar profilinde sertlik derecelendirilmesinden üç farklı yapıda kar tabakası oluştuğu görülmektedir. Özellikle tabakalar arasındaki sertlik farkından bu bölgede 27 Mart 2016 tarihinden önce muhtemel ani erime-donma olayının yaşandığı olasılığı değerlendirilmektedir. Profilde gösterilen bıçak sertliğine sahip ikinci tabakanın kar yağışı sonrası ani sıcaklık değişimi nedeniyle bir buz tabakasının oluştuğu düşünülmektedir. Bu durum profil alınan tarih dikkate alınarak istasyondan elde edilen ve **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**' de verilen hava sıcaklıkları ile birlikte değerlendirildiğinde; iki farklı dönemde kar yağışının olduğu anlaşılmaktadır. Aralık ayının 22'si ile Ocak ayının başı arasında ani soğuma yaşanmıştır. Hemen sonra 6 Ocak tarihinde tekrar +3 ºC sıcaklıklara ulaşılmıştır. Bu durum bölgede kısa süre içerisinde ani bir soğumanın yaşandığını göstermektedir. Fakat erime için yeterli sıcaklıklara ve zamana ulaşılmamıştır. Ocak ayının sonuna kadar hava sıcaklığının eksi (-) derecelerde devam ettiği görülmektedir. Şubat ayının başından itibaren Mart ayı başına kadar sıcaklık değişimlerinde büyük farklılıklar gözlenmektedir. Bu tarihlerde yaşanan ani erime ve donma olaylarının profilde gösterilen ikinci tabakanın oluşumuna sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Kar Profili Araştırma Yeri: Bozdağ Kayak Merkezi

Rakım : 2110 m Eğim :	Koordinat: 38°19'27.10"N 28° 6'10.88"E
Tarih / Saat : 27.03.2016 / 13:30	Hava Sıcaklığı (°C):

T: Sıcaklık Z: Yükseklik (cm) F: Tane Şekli D: Tane Büyüklüğü	Sertlik Derecesi Y: Yumruk 4P: 4 Parmak 1P: 1 Parmak	Sertlik Derecesi K: Kalem B: Bıçak



Şekil 195 27 Mart 2016 tarihinde Bozdağ üst kotlarından alınan kar profili

Kış dönemi boyunca istasyondan alınan albedo değerleri incelenerek yeni kar yağışının olup olmadığı hakkında yorumlar yapılabilir. Örneğin, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da istasyonda kaydedilen albedo değerleri incelendiğinde; Kasım-2015 ayının ortalarından 19 Aralık tarihine kadar kaydedilmiş albedo değerlerinin ortalaması düşük değerlere sahip iken, 28 Kasım 2015 tarihinden itibaren genel olarak albedo değerlerinin yükseldiği görülebilir. Bu durum bu tarihte muhtemel bir yeni kar yağışını gösterebilir. Aynı durum **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de 2 Ocak 2016 tarihinde de görülmektedir. 2 Ocak ve sonrasındaki kaydedilen yüksek albedo değerleri bu tarihlerde büyük miktarda kar yeni kar yağışının olduğunu gösterebilir. Aynı eğilim 3 Mart tarihinde de gözlenebilir (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Bu okumalardan bölgede muhtemel olarak 3 kar yağışının olabileceği kanaatine varılmıştır. Bunlardan ilki zayıf olasılık ikinci ve üçüncü durum kuvvetli kar yağışı olma olasılığını göstermektedir. Bu durum bölge halkı ile yapılan görüşmeler ile de teyit edilmiştir. O tarihlerde bölgede 2 farklı tarihte fazla kar yağışı olduğu söylenmiştir. Bu durum da profilde açıkça görülmektedir.

5. TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Gerçekleştirilen proje çalışmasının ana amaçları; çığa özgü verileri toplayan otomatik istasyon kurulumu ve işletilmesi, seçilen çalışma alanında oluşabilecek çığın sayısal bir model sayesinde benzeşiminin gerçekleştirilmesi ve ülkemiz açısından seçilen model sonuçlarının değerlendirilmesi, arazide stabilite testlerinin yapılması ve ülkemize ait bir çığ modeli yazılımının geliştirilmesi şeklinde özetlenebilir.

Bu bölümde proje boyunca yapılan çalışmaların kısa bir özeti, elde edilen bulgular ışığında tartışmalar, proje çalışmaları içerisinde yaşanan sorunlar ve son olarak konu ile ilgili öneriler sunulmuştur.

5.1 Arazi Stabilite Testi Çalışmaları ve Sürdürebilirliği

Arazide yapılan stabilite çalışmaları çığ tehlikesinin görülebileceği bölgeler için çığın önlenebilmesi veya gerekli önlemlerin alınabilmesi açısından önemli çalışmalardır. İlgili bölgede yapılacak bu stabilite çalışmaları ile mevcut kar örtüsünün dayanımı ve katmanlarına ait bilgiler toplanarak oluşabilecek muhtemel çığ olaylarına karşı önlem alabilmek ve çığ tehlikesi ile ilgili daha sağlıklı yorumlar yapabilmek mümkün olacaktır. Belirli bir noktada yapılan stabilite çalışmaları ile o noktada bulunan kar örtüsünün yüksekliği, sıcaklığı, sertliği, nemi, kar tane biçimi ve katmanları ile ilgili bilgiler edinilebilmektedir. Bir nokta için yapılan bu analizler, belirli bir alanı temsil edecek noktalar için tekrarlanır ise, elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek ilgili parametrelerin alansal dağılımı elde edilebilir. Stabilite testi, çığ olayının meydana getirebileceği durumları doğrudan etkileyen ve kopma bölgesi olarak tanımlanan bölgenin tespitinde özellikle kopma derinliğinin belirlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Böylece oluşabilecek bir çığ olayının taşıdığı karın hacmini yaklaşık olarak öngörmek mümkün olabilecektir.

Proje süresince 8 adet arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları yaz ve kış sezonlarında gerçekleştirildiğinden çalışma yapılacak arazi ve hava şartları dikkate alınarak uygun kıyafetler temin edilmiştir. Bu konu her ne kadar proje ana amaçlarından birisi olarak görülmese de arazi çalışmaları esnasında araziye uygun gerekli teçhizat temininin önemi burada bir kez daha hatırlatılma gereği duyulmuştur. Proje ekibinin önceki deneyimleri de dikkate alınarak kışlık ve yazlık dağ kıyafetleri, telsiz, kar çubuğu, GPS cihazı vb. ekipman bu çalışmalar esnasında hazır bulundurulmuştur. Yüksek rakımlı arazi çalışmalarında hava şartlarının önceden kontrolü birinci derecede önemlidir. Her ne kadar arazi öncesi hava tahminleri kontrol edilse de yüksek kotlarda çok değişken hava şartları nedeniyle önceden tahmin edilemeyen durumlarla karşılaşılabilmektedir. Örneğin Şubat 2015 tarihinde Bozdağ üst kotlarında 18 kişilik dağcı grubu hava şartları nedeniyle mahsur kalmış ve ancak kurtarma ekiplerinin sayesinde kurtarılmışlardır.

Bu nedenle çığ ile ilgili arazi çalışmalarında her açıdan güvenliğin ve önlemlerin en üst seviyede alınması gerekmektedir. Bu nedenle yaz veya kış mevsimi olması durumundan bağımsız olarak proje kapsamında gerçekleştirilen tüm arazi çalışmalarında araziye katılan ekip çalışanları için tüm güvenlik önlemleri en üst düzeyde tutulmuştur.

Kar stabilite testleri literatürde halen geliştirilen dinamik bir konuyu içermektedir. Proje kapsamında gerçekleştirilen profil ve stabilite çalışması literatürde mevcut çalışmaların proje sahasına uygulaması şeklinde gerçekleşmiştir. Burada uygulanan yöntem İsviçre'de kullanılan yöntem ile benzerlikler göstermektedir. Proje çalışması esnasında bu alanda oldukça yeni çalışmalara rastlanmıştır. Örneğin ilk örnekleri Avrupa'da "***micropen***" ismi ile geliştirilen ve A.B.D.'de ticari ürüne dönüştürülen "***AvaTech"*** isimli alet ile özetle kar örtüsüne bir çubuğun batırılarak kar örtüsü içerisindeki fiziksel özelliklerin kısa bir süre içerisinde otomatik olarak kaydedilmesi şeklindedir. Profilin ve özelliklerin kısa bir süre içerisinde elde edilmesi oldukça önemli bir gelişmedir. Çünkü insan gücü ile bir profilin elde edilmesi 1-1,5 saat kadar sürede tamamlanırken elektronik çubuklar sayesinde bu süreler 10-15 dakikaya kadar düşmektedir.

Bölge ile ilgili daha detaylı ve sağlıklı veriler elde edebilmek için bu çalışmaların önceden belirlenmiş noktalarda belirli zaman aralıkları ile yapılması bölgesel analiz için daha sağlıklı olacaktır. Böylece arazi üzerindeki kar örtüsü hakkında zamana bağlı değişimlerin gözlenmesi de mümkün olacaktır.

Stabilite çalışmaları yapılırken değerlendirilen "Kar Tane Biçimi" ve "Sertlik" gibi unsurların tespitinde, çalışmayı yapan kişinin konu ile ilgili mesleki tecrübesi ve ilgisi önem arz etmektedir. Stabilite çalışması sırasında yardım alınan materyaller her ne kadar açıklayıcı olsa da konu ile ilgili kişilerin çalışmayı gerçekleştirmeleri daha sağlıklı olacaktır. Bu nedenle üstünde çalışılacak bölge ile ilgilenen kurumlarca (DSİ, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, AFAD, vb.) atanmış kişilerin belirli zaman aralıkları ile önceden tespit edilmiş konumlarda yapacakları çalışmalar, bölge ile ilgili önemli verilerin elde edilebilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmalar, düzenli zaman aralıklarında yapılır ise elde edilen veriler aynı zamanda istatistiki çalışmalarda da kullanılabilecektir. Hem ilerleyen zaman içerisindeki koşulları istatistiki yöntemlerle tahmin edebilme hem de mevcut zamandaki kar stabilite verilerinin çığ potansiyeli açısından analizinin gerçekleştirilmesi için stabilite çalışmalarının belirli bir düzen çerçevesinde yapılması oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle Başbakanlık AFAD yetkilileri ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan görüşmeler neticesinde arazi stabilite testlerinin düzenli olarak gerçekleştirilmesinin sağlanması amacıyla kurum bünyesinde eğitim çalışmaları gerçekleştirilecektir.

Bu eğitim, kurum bünyesinde çalışan mühendislere yönelik verilecek olup arazi çalışmaları proje kapsamında seçilen proje alanı kullanılarak gerçekleştirilecektir. Kış sezonunda yapılacak olan eğitim çalışmaları için henüz herhangi bir alan seçimi yapılmamıştır. Bu eğitim sayesinde; ülkemizde oldukça az sayıda bulunan çığ konusunda tecrübeli mühendis sayısı artırılmış olacaktır. Çığ çalışmalarında oldukça gerekli olan ve bölgelerden alınması gereken stabilite testlerinin uzmanlarca düzenli olarak alınması çığ konusunda yapılan çalışmaların sürdürülebilirliğini sağlayacaktır. Orta ve uzun vadede çığa karşı çözüm önerilerini ortaya koyabilmek amacıyla bölgelerden alınan kar örtüsüne ait bir veri tabanının oluşturulması için yapılan stabilite testleri kullanılabilecektir.

5.2 Otomatik Çığ İstasyonu

Proje çalışmaları esnasında otomatik çığ istasyonundan alınan verilerin doğruluğu, veri iletimindeki sıkıntılar ve hava şartları nedeniyle istasyon bileşenlerinde oluşan arızalardan kaynaklı bazı zorluklarla karşılaşılmıştır. Proje süresince karşılaşılan zorlukların, yaşanan sorunların ve elde edilen tecrübelerin burada bahsedilmesi konu ile ilgili ileride yapılacak olan çalışmalara oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir.

Dağın yüksek kesimlerinde, özellikle çığ başlangıç (kopma bölgesi) kotlarında arazide otomatik istasyon yerinin belirlenmesi için birçok ön çalışma yapılması gerekmektedir. Hâkim rüzgâr yönü, güneşlenme durumu, istasyon ana direklerinin sabitlenebileceği bir zeminin bulunması, seçilecek noktanın alanı iyi temsil etmesi, mümkün olduğunca yatay bir alanın olması gibi birçok faktör göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdendir. Alanda kaya zeminin bulunması istasyonun stabilitesi için büyük avantaj olmuştur.

İstasyonun yer tespiti sonrasında istasyonun kurulacağı alanın malikleri tespit edilerek alınması gereken izinler için gerekli yazışmaların hazırlanması ve takibinde yaşanan bürokratik işlemlerden dolayı istasyon kurulum zamanlaması gecikebilir. Yapılan bu projede izin alma sürecinin yaz mevsimine rast gelmesi nedeniyle takip eden kış mevsimi şartları başlamadan kurulumun gerçekleştirilmiş olması bir kazançtır.

İstasyondan elde edilecek verilerin kayıtları ve anında ulaştırılması bölgede bulunan GSM şirketlerinin veri iletim kapasiteleri ve kaliteleri ile doğrudan ilişkilidir. Kış şartlarında GSM hatlarında yaşanan problemler nedeniyle verilerin merkeze ulaştırılması konusunda dönem-dönem sorunlar yaşanmaktadır. GSM şirketinin bölge ile ilgili sorumluları ile yapılan görüşmeler sayesinde dönemsel arızanın giderilmesi sağlanmış olmasına rağmen dağlık arazide iletişim

şartlarının beklenenden düşük gerçekleşmesi her ne kadar veriler istasyonun kendisinde depolansa da yaşanan en önemli zorluklardan sayılabilir.

İstasyonun kaya zemine 5 farklı noktadan ankraj yapılarak stabilitesi sağlanmıştır. İstasyonun 1900 m rakımda kurulmasından dolayı şiddetli rüzgarlara maruz kalmaktadır. 6 metre yüksekliğe sahip, ana direğinin boy/en oranı oldukça yüksek olan çığ istasyonun 2016 yılı kış mevsimi Şubat ayında yaşanan şiddetli fırtınada dahi ayakta kalması tasarımın stabilite açısından yeterli olduğunu göstermiştir. Ancak istasyon üzerindeki bazı bileşenlerin örneğin güneş panelinin yerinden koparak istasyona ufak çaplı zarar vermesi bu rakımlarda hava şartları nedeni ile yaşanabilecek sıkıntıları göstermiştir. Bu durum da proje ekibi tarafından proje önerisinde öngörülmüş ve her kış mevsimi öncesinde istasyonun tüm parçalarının bakım ve onarımı gerçekleştirilmiştir.

İstasyon, her ne kadar üst kotlarda olsa da yaz döneminde telesiyej ile üst kotlara çıkan ziyaretçiler veya hayvancılıkla uğraşan yerel halkın sahibi olduğu hayvanlar tarafından verilebilecek zararlara açıktır.

İstasyona özellikle kış sezonunda ulaşım oldukça sıkıntılıdır. Çığ riski nedeniyle dağın üst kotlarına çıkışların yerel yönetim tarafından engellenmesi üst kotlarda yapılacak çalışmalara engel olabilmektedir. Örneğin dağın üst kotlarına çıkılamaması veya hava şartları nedenleriyle üst kotlardan kar örtüsüne ait profillerin alınamaması sorunu yaşanabilmektedir. Bununla birlikte bu durum istasyonda meydana gelen bir arızanın yerinde tespit edilebilmesine de engel olmaktadır.

İstasyonların genellikle düz alanlarda, korunaklı ve dış etmenlerden mümkün olduğunca etkilenmeyecek bir alanda kurulması önerilmektedir. Fakat dağlık bir arazinin üst kotlarında bu şartlara uygun kurulum yeri bulmak oldukça zordur. Çalışma sahasında da bu durum yaşanmıştır. Kurulum için seçilen alanda eğimin yüksek olması ve yüksek rüzgarlara maruz kalınması gibi etkenler, istasyondan bazı verilerin sağlıklı alınmasına engel teşkil edebilmektedir. Örneğin; istasyondan elde edilen kar yükseklikleri ölçümlerinin sağlıklı olmamasının nedeninin, ölçüm alınan sensörün arızalı olabilme ihtimalinin yanında arazi eğiminin istenilen seviyede yataylaştırılamamış olmasından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu iki durum da proje süresi içerisinde giderilmeye çalışılmış, gerekli bakım ve onarım çalışmaları sırasında sensörlerin arızalı olma ihtimaline karşı sensörler yenilenmiş, eğim daha da yumuşatılmıştır. Bu düzenlemeler kış öncesinde arazide gerçekleştirmiştir. Kış sezonu başlamadan ölçüm bileşenlerinin kontrolleri yapıldığında herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. İstasyonun kaydettiği veriler Ek-1 ‘de sunulmuştur.

5.3 Sayısal Model Çalışmaları

Türkiye'ye özgü çığ modelinin yazılımı için literatürde mevcut diğer modeller örnek alınmıştır. Literatürdeki çığ modellerinin tarihsel gelişimleri incelendiğinde öncelikle bir boyutlu modellerin geliştirildiği ve sonrasında farklı parametrelerin model içerisine entegre edildiği görülmektedir. Örneğin RAMMS programı öncesinde geliştirilen İsviçreli araştırmacılar tarafından önerilen bir boyutlu çığ yazılımı AVAL-1D programı 1995 yılından bu yana birçok farklı ülkede uygulanmaktadır. AVAL-1D'nin uygulanmaya başlamasından yaklaşık 10 yıl sonra AVAL-1D'nin iki boyutlu olarak gelişmiş bir versiyonu olan RAMMS programı yine İsviçre Davos'ta bulunan SLF Çığ Araştırma Merkezi araştırmacıları tarafından sunulmuştur. CBS programlarının da gelişimine paralel olarak program, çığın arazide yayılımını gösterebilecek kabiliyete erişmiştir. Modele uyarlanabilir sürtünme değerleri, topografik eğrilik parametresi gibi seçenekler de eklenerek sonuçların kalitesinin arttırılması yönünde çabalar devam etmektedir. Benzer durum Avusturya çığ araştırmacıları tarafından geliştirilen ELBA+ modeli için de söylenebilir.

Çığ problemi ile sorun yaşayan Orta Avrupa Ülkelerine göre ülkemizde çığ modellemesi konulu çalışmalar oldukça yenidir ve bu çalışmalardaki ana amaç genellikle AVAL-1D, ELBA+ veya RAMMS programlarının arazide daha önceden oluşmuş çığ olaylarının modellenmesindeki uygulanabilirliği konularında yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle bu araştırma projesi kapsamında daha önce çığ araştırma merkezleri tarafından yaşanmış gelişmelere benzer şekilde öncelikle 1-Boyutlu ve açık kaynaklı bir çığ modeli çalışması amaçlanmıştır.

Bu amaçla çığ akışına özgü hidrodinamik eşitlikler oluşturulmuş, sayısal çözüm yöntemine geçiş için eşitlikler Sonlu Farklar Yöntemi uygulanacak şekilde ifade edilmiştir. Literatürde önerilen bazı çözüm önerileri, bu öneriler ışığında hazırlanan akış diyagramı, sonlu farklar yöntemlerini kullanarak temel denklemlerden sayısal çözüm denklemlerine geçiş denklemleri detaylarıyla ilgili bölümde açıklanmıştır. Yapılan tüm çalışmalar Fortran dilinde yazılmış bir program ile uygulamaya çalışılmıştır. Bununla birlikte model çalışmasından elde edilen sonuçlar incelendiğinde bir stabilite probleminin meydana geldiği görülmüştür.

Sayısal difüzyon kaynaklı olduğu düşünülen ve uzun çabalar ile stabilite probleminin aşılamaması nedeniyle literatürde kullanılan bir başka çığ modeli, *Kütle Merkezi Modeli,* yeni bir çözüm yöntemi olarak dikkate alınmıştır. Bu model ile yine proje amacına uygun şekilde, arazide bir-boyutlu çığ güzergâhı boyunca oluşan hızlar ve çığın durma mesafesinin hesaplanması amaçlanmıştır. Ayrıntıları ilgili bölümde verilen model denklemleri uygun düzenlemeler ve açıklamalar ile sadeleştirilerek akışın matematiksel modelini oluşturan diferansiyel denklem biçimine getirilmiştir. Oluşan matematiksel denklem için en uygun çözüm yönteminin Runge-Kutta (dördüncü

dereceden) sayısal çözüm tekniği olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen çözüm yönteminin uygulanacağı akış şeması, yapılan kabuller ve proje kapsamında uygulama alanı olarak seçilen araziye ait verilerin kullanımı ile "CIG_1B_V1" isimli program çalıştırılarak elde edilen sonuçlar yine ilgili bölümün sonunda sunulmuştur. Fortran dilinde yazılmış olan 1-Boyutlu "CIG_1B_V1" program kodunun tamamı EK-2'de verilmiştir. Proje kapsamında uygulama sahası olarak seçilen Bozdağ Kayak Merkezi üst kotlarında bulunan Koca Dere Çığ hattına ait verilerin "CIG_1B_V1" programında girdi olarak kullanımı ile elde edilen sonuçlar, RAMMS program sonuçları ile kıyaslanarak bir değerlendirme yapıldığında, proje kapsamında geliştirilen modelin başarılı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte programın yeterliliği hakkında daha iyi fikir elde edebilmek için daha önceden ülkemizde oluşmuş farklı özelliklere sahip özellikle durma mesafesi bilinen çığ hatlarında uygulanarak sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sayısal model gelişimi uzun dönem ve bir ekip çalışmasını gerektiren çalışmaları içermektedir. Bu proje kapsamında geliştirilen CIG_1B_V1 programının proje sürecinde elde edilen deneyimler ile birlikte farklı sahalara da uygulanması sayesinde gelişim göstereceği ve hatta ileriki dönemlerde ülkemiz için bir uygulama programı olarak kullanılabileceği kanaatindeyiz.

5.4 Dinamik Simülasyon Çalışmalarının Değerlendirilmesi (RAMMS Programı)

Projede yapılan tüm çalışmalar konu ile ilgili literatür çalışmalarından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle proje ekibinin önceki deneyimleri ve yapılan detaylı güncel literatür çalışmaları neticesinde en uygun çığ modelinin İsviçre'de uzun yıllara dayanan çalışmalar ve tecrübeler ile geliştirilmiş bir model olan RAMMS seçilmiştir. Programın çalıştırılması için gerekli altlıkların hazırlanması amacıyla CBS tabanlı programlara ve sayısal haritalara ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan çalışmalarda ArcGIS programı kullanılmıştır. Sayısal haritaların elde edilmesi, haritalarda gerekli verilen işlenmesi, çığ patikaları için program üzerinde yapılan çalışmalar, arazi gözlemleri gibi çalışmalar programın çalıştırılması için gerekli alt çalışmalardır.

Çalışma sahası için 12 patika üzerinde gerçekleştirilen sabit ve değişken sürtünme parametreleri ile yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum çığ yüksekliği, maksimum çığ hızı ve maksimum çığ basıncı sonuçları Tablo 12'de özetlenmişti. Bu sonuçlara göre;

Değişken yani arazi koşullarının dikkate alınarak belirlenen sürtünme parametreleri ile yapılan analizlerden elde edilen çığ yüksekliği, hız ve basınç değerleri arazi için kabul edilen sabit sürtünme parametreleri ile yapılan analizlere göre genel olarak daha yüksek değerler ile sonuçlanmıştır. Fakat tabloda bu genel duruma uymayan sonuçlarda görülmektedir. Örneğin 9 ve 10 numaralı patikalarda değişken sürtünme parametreleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen çığ yüksekliği, hız ve basınç değerlerinin sabit sürtünme parametreleri

kullanılarak yapılan analizlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 12 numaralı patikadan elde edilen analiz sonuçları, değişken sürtünme parametrelerinin kullanımı ile çığın maksimum yüksekliğinde artışa, çığ hızı ve basınç sonuçlarında ise azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Bu durum önemli girdi parametrelerinden olan sürtünme değerlerinin sabit ya da değişken olarak tayin edilmesi ile elde edilen sonuçlar arasında doğrusal bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bu durumun nedeni sürtünme parametre değerlerinin belirlenmesinde arazinin rakımı, eğimi, eğriselliği ve orman örtüsü gibi özelliklerin dikkate alınmasıdır. Arazide bu özelliklerin bir konumdan diğerine oldukça farklılık gösterebilmesi hesaplamalarda kullanılan sürtünme katsayılarının program sonuçlarında, çığın derinliği, hızı veya basıncı üzerinde artırıcı veya azaltıcı yönde etkilere sahiptir. Bu durumun bir diğer nedeni ise çığın aktığı kesit alanındaki değişimlerdir. Akım yönüne dik eksendeki kesit daraldıkça aynı miktarda akan kar kütlesi daha yüksek çığ derinliklerine, daha yüksek hızlara veya basınç değerlerine sebep olur. Kesit genişlerse sonuçlarda benzer şekilde etkilenecektir.

Şekil 88-Şekil 92 arasında verilen grafiklerden çığ hattı üzerinde bir çizgi ile tanımlanan kesit için oldukça önemli sonuçların elde edilebildiği görülmektedir. 280 metre uzunluğa sahip bu kesit özellikle kayak merkezi konaklama tesisleri üzerinden seçilmiştir. Elde edilen sonuçlardan çığın başlama zamanından bu kesite ulaşma süresi 37 sn olarak hesaplanmış (Şekil 92), çığın durma süresi ise yaklaşık olarak 85 sn olarak elde edilmiştir. Çığın durduğu zamanda yüksekliği 1.75 m'dir. Şekil 91'de, incelenen hat üzerinde çalışılan senaryonun oluşturacağı en büyük basınçlar görülmektedir. Grafiğin alt bölümündeki gri alan ile işaretlenen bölüm çığ basınçlarını göstermektedir. Kesitin sol tarafında 240 kPa, sağ tarafında ise 170 kPa basınç değerleri görülmektedir. Yani seçilen kesitin membaya göre sol tarafı kayak merkezi konaklama oteli olduğu düşünülürse 200 kPa'ın üzerindeki basınçların binaya etkiyebileceği sonucu çıkarılabilir. Bu değerler, binada hasarlar meydana getirebilecek büyüklükteki basınçlardır. Nitekim arazide oluşan gerçek çığ olayında camlar kırılmış, çerçeveler hasar görmüş, binanın dışında bulunan betonarme köprü kullanılamaz hale gelmiştir. Bu değerler bu hasarlar ile uyumludur. Senaryo çığ sonucunda programdan elde edilen hız değerlerinin gerçek değerler ile kıyaslanması mümkün değildir. Çünkü hız ölçümlerinin elde edilmesi ancak belirlenen bir çığ test sahasında güvenlik önlemleri alınarak ve hız ölçüm yöntemi seçilerek alınabilmektedir. Çığ sonrası çekilen fotoğraflar, videolar vb. kanıtlar çığ hızı için fikir vermese de çığın birikmiş yüksekliği hakkında ve oluşan hasarlardan çığ basıncı hakkında bilgilere ulaşmak mümkün olmaktadır. Bu alan için de benzer fotoğraflar kullanılmıştır.

Tablo 14'te Senaryo 1 çalışmasından elde edilen veriler incelendiğinde kopma derinliği arttıkça çığ akma yükseklikleri, çığ hızları ve basınçların da arttığı, benzer şekilde yineleme periyodunun

da artması ile çıktı parametrelerinin attığı sonucuna ulaşılır. 1.5 m kopma derinliği, 10-300 yıllık yineleme periyodları için çalıştırılan Senaryo 1 sonuçlarından elde edilen basınçlar neredeyse bir betonarme binayı yıkabilecek seviyeye kadar ulaşmaktadır. 300 yıl yineleme periyodu için elde edilen maksimum çığ hızı 50.21 m/sn olarak hesaplanmış oldukça yüksek çığ hızlarıdır. Otel binası, Senaryo 1 çalışmasında kullanılan çığ patikası üzerinde olmadığından gerçek çığ sonuçları ile kıyaslama yapılamamıştır. Senaryo 1'e ait gerçek çığın durma mesafesi bir kontrol değeri olarak değerlendirilebilir fakat 1 numaralı patika üzerinde meydana gelmiş olan gerçek çığ ile ilgili fotoğraf, video vb. materyaller olmadığından bu kontrol yapılamamıştır.

Tablo 16'te Senaryo 2 çalışmasından elde edilen veriler incelendiğinde, Senaryo 1 çalışmasından elde edilen sonuçlarla genel olarak benzer eğilimde olmakla birlikte detaylı yorumlar bu bölümde verilmiştir. Program, Senaryo 2'deki maksimum çığ yüksekliklerini, Senaryo 1'deki maksimum çığ yüksekliklerine göre daha düşük değerlerde hesaplamıştır. Program sonucunda elde edilen çığ yükseklikleri, hız ve basınç değerleri doğrudan kopan çığ hacmi ile ilişkilidir. Tablo 10'da verilen kopma hacimleri incelendiğinde Senaryo 2'deki kopma hacminin (204469 m^3), Senaryo 1'deki kopma hacminden (174400 m^3) daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda normal olarak Senaryo 2'den elde edilen çığ yüksekliği, hız ve basınç değerlerinin Senaryo 1'e göre daha büyük değerler olması gerektiğidir. Fakat Senaryo 2'de kullanılan çığ hattındaki akış hattı geometrisi Senaryo 1'e göre daha açık ve büyük akım kesitlerinde akmaya uygun olduğundan çığ hacmi büyük olmasına rağmen hesaplanan çığ yükseklikleri daha düşük fakat çığ hızları yaklaşık aynı değerlerde sonuçlanmıştır. Bu durum, Senaryo 3 sonuçlarından çok daha net görülebilmektedir. Çünkü Senaryo 3, Senaryo 2 ile aynı akma hattından farklı çığ hacmi ile akan bir senaryo olarak planlanmıştır. Senaryo 3'te kopan kar kütlesi Senaryo 2'ye göre yaklaşık olarak üçte biridir. Akım kesitleri ve sürtünme parametrelerinin iki senaryo için de aynı olması sonuçların karşılaştırılmasını da mümkün kılmaktadır. Bu durum Tablo 16 ve Tablo 18 sonuçları ile görülebilir. Tablo 16 ve Tablo 18'de yapılan incelemelerde analizlerin sonuçlarının eğilimlerinin birbirlerini destekler doğrultuda olduğu görülmektedir. Senaryo 2 ve Senaryo 3 için yapılan analizlerde genel eğilimin, Yineleme Periyodu'nun azalması ile Maksimum Çığ Yüksekliği değerlerinin arttığı, Maksimum Çığ Hızı ve Maksimum Çığ Basıncı değerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Bu sonuçtan arazideki çığ patikasının sonuçları hangi yönde etkilediği çok daha net görülmektedir. Senaryo 2 ve Senaryo 3'teki bu benzer eğilimli sonuçlardan, analizlerde çığ patikasının sonuçların eğilimini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Senaryo 1'deki patikanın ve simülasyon çalışmaları girdilerinin farklılıklarından kaynaklı olarak Senaryo 1 sonuçlarının genel olarak eğiliminin Senaryo 2 ve Senaryo 3'ten farklı olduğu görülmüştür. Bu durumun da

analizleri etkileyen etkenler arasında arazi topoğrafyası, akma hattı, arazi eğimi vb. gibi özelliklerin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Senaryo çalışmalarının tümü dikkate alındığında; çığ yüksekliği, hızlar ve basınçlar açısından Senaryo 2 sonuçları Senaryo 3 sonuçlarına göre 3-4 kat daha yüksek sonuçlandığı görülmüştür. Senaryo 2 ve 3'ün özelliği, arazide oluşmuş gerçek çığın bu hat üzerinde oluşmuş olmasıdır. Bu nedenle Senaryo 2 ve 3'ün sonuçlarının gerçek çığ sonuçları ile kıyaslaması yapılabilir. Araziden gerçek çığ sonrası çekilmiş fotoğraflar ve videolar incelendiğinde çığın durma bölgesinde biriken kar derinliklerinin 2.5-3.0 m olduğu görülmektedir. Yine fotoğraflardan otel binasında kısmi zararlar oluştuğu, otel binasını bağlayan beton köprünün ise tamamen kullanılmaz duruma geldiği görülmektedir. Bu nedenle yapılan analizlerde en uygun senaryonun Senaryo 3 içerisinde kopma derinliği verisi 1.0 m olan çalışmanın gerçek duruma en yakın sonuçları ürettiği sonucuna varılmıştır. Bu durum arazi üzerinde dağılmış şekilde Şekil 119'da gösterilen analiz sonuçlarından da görülebilir. Bu senaryo sonuçlarındaki çığın durma noktası gerçek durumdaki çığın durma noktası ile uyum içerisindedir. Literatürde sayısal model sonuçlarının tutarlılığını sınamak açısından model sonucundan elde edilen ve gerçek durumdan ölçülen çığın durma mesafelerinin karşılaştırılması sıkça uygulanan bir kontrol yöntemidir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında da bu karşılaştırma yapılmıştır.

RAMMS programı ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesini ve yorumlanabilmesine imkân veren grafikler Şekil 126 ve Şekil 127'de örnek olarak verilmiştir. Bu grafikler sayesinde hem çığ simülasyonunun alansal dağılımını hem de sonuç değişkeninin seçilen bir çizgi hat boyunca değişimini takip etmek mümkün olmaktadır. Şekil 127'de verilen grafikte, Şekil 126'da çığ hattı üzerinde çizilen kırmızı çizgi boyunca elde edilen sonuçların değişimi gösterilmektedir. Böylece arazide 3 boyutlu olarak sonuçlar sunulmuş olmaktadır. Şekil 127'de 50 cm kopma derinliğine sahip Senaryo 2 ile elde edilen sonuçların seçilen çizgi hat boyunca değişimleri t=36 sn, t=42 sn, t=48.1 sn anları için çizilmiştir (Şekil 128). Şekil 128'in sağ kısmında verilen grafiklerde kesite ait iz-düşüm uzunluğu, rakım ve kar(çığ) yüksekliklerine ait hem grafik çizim hem de sayısal değerler listelenmiştir. Bu sayede zamana göre sonuç için değerlendirilen değişkenin takibi oldukça kolay olarak izlenebilmektedir. Takip eden grafikte (Şekil 129) t=60.2 sn, t=72.2 sn ve t=80.1 sn zamanları için programdan elde edilen sonuçlar çizilmiştir. Programın çalıştırılması ile kar yüksekliği için elde edilen sonuçlara ait grafiklerin benzerleri hız ve basınç olması durumu için de elde edilmiş ve takip eden grafiklerde (Şekil 130 - Şekil 133) gösterilmiştir. Program, farklı bir kopma derinliği (H=75 cm) dikkate alınarak yeniden çalıştırılmış ve elde edilen bu senaryo sonuçları Şekil 134- Şekil 139'da verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde RAMMS programından simülasyonu gerçekleştirilen çığın hem akma hattı boyunca hem de enine

kesitlerde hesaplanan çığ yükseklikleri, hızlar ve basınç değerlerinin elde edilebildiği görülmüştür. Analizlerde farklı girdi parametreleri kullanılarak programın uygulanabilirliği sınanmış ve elde edilen sonuçlarda herhangi bir sayısal düzensizliğe rastlanmamıştır.

Çığ modeli RAMMS'ın temini ve kullanımı ile ilgili çalışmalar projede planlandığı gibi yürütülmüştür. Bu iş programında herhangi bir gecikme veya sorunla karşılaşılmamıştır. Programın çalıştırılması için arazi üzerinde farklı senaryolar planlanmış ve programda bu koşullar sınanmıştır. Programdan elde edilen simülasyonlar ve grafikler, bulgular bölümünde detayları ile verilmiş konu ile ilgili değerlendirmeler bu bölümde yapılmıştır. Özetle RAMMS programının alanda kullanımının gerçekleştirilmiş olması, elde edilen sonuçların proje sahası için bir doğrulamayı gerçekleştirmesi programın Türkiye'de başka çığ hatlarına da uygulanabileceğinin göstergesidir.

5.5 İstatistiksel Model Çalışmaları

İstatistiksel çalışmalar kaliteli verilerin toplanması ve uzun yılların birikimi sayesinde sonuç getirecektir. Bu çalışma sayesinde, elde edilecek olan verilerin istatistiksel olarak nasıl değerlendirilebileceği görülmüştür. Proje kapsamında gerçekleştirilen istatistiksel çalışma literatürde mevcut istatistiksel çalışmaların uygulama sahası açısından değerlendirilmesi şeklinde yapılmış ve çalışma detayları 4. Bölümde verilmiştir.

5.6 Projenin Yaygın Etkisi

Projenin mümkün olduğunca ilgili kişiler ya da kurumlarla paylaşılması farklı yöntemlerle sağlanmaya çalışılmıştır. Proje süresi boyunca "www.turkiyecig.com" adresinden çığ ile ilgili temel bilgiler ve özellikle proje çalışmalarının ana hatları hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır. Proje süresinin sona ermesini takiben web adresinin de sonlandırma zorunluğu nedeniyle ilgili sayfa kapatılmıştır. Proje çalışma takviminde belirtildiği üzere ilgili kurumlar ve çalışanlarını bir araya getirecek bir çalıştay düzenlenmiştir. Çalıştayda, Başbakanlık AFAD, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Çölleşme ve Erozyon ile Mücadele Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü kurum üst yöneticileri ve konu ile ilgili çalışan mühendislerle bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Ayrıca proje kapsamı dışında çığ ve çığ önlemi konularında ülkemizde neler yapılabileceği hususlarında oldukça değerli tartışmalar gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili çalıştay detayları Ek-3'te verilmiştir.

Projeden elde edilen sonuçlar proje süresi içinde ulusal veya uluslararası konferanslarda sunularak mümkün olabilecek diğer paydaşlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Çankaya Üniversitesi'nde, Karabük Üniversitesi'nde ve Trabzon'da gerçekleştirilen konferanslar veya çalıştaylarda yapılan sunumlar yurtiçindeki bilim insanları ile konunun paylaşılmasını, ABD'nin

Denver şehrinde 2016 yılında yirmi ikincisi gerçekleştirilen sadece çığ konusunda oldukça geniş uluslararası katılımlı ISSW2016 konferansında bir poster ve bir bildiri sunumu ile ülkemizde yapılan çalışmalar konu uzmanları ile paylaşılmıştır. Özellikle poster sunumu diğer araştırmacılarla tanışma ve bilgi alışverişi açısından oldukça verimli geçmiştir. Proje sonuçları ayrıca hakemli bir dergide makale olarak yayınlanmıştır. Bununla birlikte proje sonuçlarının derlenmesi ve SCI kapsamında veya diğer indekslerde taranan dergilerde yayınlanması için çalışmalar devam etmektedir.

Proje amaçlarına ulaşılması öncelikli hedef olması ile birlikte proje çalışmaları esnasında bir yüksek lisans öğrencisi burslu olarak projede yer almış bir doktora öğrencisi de proje çalışma konusunda çalışmalarını tamamlamıştır. Ülkemizde konu ile ilgili uzman yetersizliği göz önüne alındığında bu proje vesilesi ile 2018 yılı sonunda bir yüksek lisans tezinin ve bir doktora tezinin tamamlanmış olması da memnuniyet vericidir. Konu ile ilgili Bütün (2019) ve Demir (2018) tarafından tamamlanan tezler Referanslar bölümünde belirtilmiştir.

5.7 Öneriler

Çığı oluşturan nedenler zamansal ve mekânsal açıdan dar alanlarda dahi büyük değişimler gösterebilmektedir. Örneğin seçilen proje alanının zirvesinde dağın güney yamaçlarında çok az kar derinlikleri gözlenirken kuzey yamaçlarda rüzgârdan dolayı oluşan kürtün nedeniyle metreleri bulan kar örtüsü derinliklerine rastlanabilmektedir. Bu nedenle bölgede kar örtüsündeki mekânsal ve zamansal değişimi dikkate alacak, kolay, pratik, hızlı ve doğru bir şekilde profil alma yöntemlerinin geliştirilmesi ve kış sezonu süresince bölgeden planlı ve düzenli olarak kar profili alınması gerekmektedir. Yeni geliştirilen teknolojik aletler bu işlem için oldukça uygun görülmektedir. Çünkü klasik profil alma işleminde birden fazla sayıda konu uzmanı personele gereksinim duyulurken yeni yöntemlerde konu ile ilgili uzman olmayan bir kayakçı tarafından profil alınabilmektedir.

Ülkemizde çığ ile ilgili tahmin çalışmalarının yapılabilmesi için hem veri sayısının hem de profil sayısının arttırılması ve düzenli olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Sonuçlar bölümünün ilk kısımlarında bahsedildiği gibi çığ ile ilgili arazi çalışmalarında güvenlik önlemlerinin en üst düzeyde düşünülmesi gerektiği belirtilmişti. Özellikle kış mevsiminde yapılan arazi ziyaretlerinde araştırma ekibinin çığ tehlikesine maruz kalma olasılığı vardır. Bu durumda araştırma ekibinde bulunan kişilerin son yıllarda kullanımı artan çığ hava yastığı (*avalanche airbag*) kullanması yeni bir güvenlik önlemi olarak unutulmaması gereken önemli bir konudur.

Çığ ile mücadele oldukça kapsamlı bir konudur. Çığ ile mücadele eden ülkelerin birçoğunda kurulan çığ enstitüleri sayesinde konu ile ilgili oldukça kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu

nedenle ülkemizde çığ ile yapılacak mücadele için bir enstitü kurulması önerilmektedir. Bu kurum farklı disiplinleri bünyesinde taşımalıdır. Kar fiziği çalışmaları, haritalama, risk bölgelerinin tespiti, koruma yapılarının tasarımı, çığın önceden tahmin modellerinin geliştirilmesi, çığın bilgisayar modelleri ile benzeşiminin sağlanması, kar örtüsüne ait modellerin geliştirilmesi, farklı yöntem ile verilerin elde edilmesi gibi çok sayıda çalışma bu kapsamda değerlendirilebilir. Çığ konusunda yeterli sayıda olmayan uzman sayımızın artırılması da bu kurum sayesinde sağlanabilecektir.

Ülkemizde planlanacak ve inşaa edilecek çığ koruma yapıları için geliştirilmiş bir standart henüz mevcut değildir. Çığa karşı koruma yapılarının tasarımında kullanılmak üzere standartların belirlenmesi gerekmektedir. Dağı üst kotlarında kar bariyerleri, kar ağları, dağın alt kotlarında ise yönlendirici duvarlar, barajlar vb. yapıların tasarımı için kılavuzlar oluşturulmalıdır. Özellikle kar pistlerinin, kayak tesislerinin planlanmasında ana kriterlerden bir tanesi çığ tehlikesi ve riskinin belirlenerek muhtemel çözümlerin üretilmesi gerekliliğidir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

Amt der Tiroler Landesregierung/Office of Tyrolean Government. (1996). *Lawinenhandbunch*. Tyrolia, Innsbruck, (in German).

Ancey, C., Gervasoni, C., & Meunier, M. (2004). Computing extreme avalanches. *Cold Regions Science and Technology, 39*, 160-179.

Arattano, M., & Savage, W. (1994). Modelling debris flows as kinematic waves. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 49(1)*, 3-13.

Arslan, G. (2014). Çığ sayısal modeli uygulaması: Uzungöl, Dorinori örneği . *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.

Aydin, A., Bühler, Y., Christen, M., & Gürer, I. (2014). Avalanche situation in Turkey and back calculation of selected events. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 14(5)*, 1145.

Bakkehoi, S., Domaas, U., & Lied, K. (1983). Calculation of snow avalanche runout distance. *Annals of Glaciology, 4(1983)*, 24-29.

Barbolini, M., Cappabianca, F., & Savi, F. (2003). A New Method For The Estiation Of Avalanche Distance Exceeded Probabilities. *Surveys in Geophysics, 24*, 587-601.

Barbolini, M., Gruber, U., Keylock, C., Naaim, M., & Savi, F. (2000). Application of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites. *Cold Regions Science and Technology, 31*, 133-149.

Barpi, F. (2004). Fuzzy modelling of powder snow avalanches. *Cold Regions Science and Technology, 40*, 213-227.

Bartelt, P., Buehler, Y., Christen , M., Deubelbeiss , Y., Salz, M., Schneider, M., & Schumacher, L. (2013). RAMMS Uer Manual v1.5 Avalanche.

Beguería, S., Van Hees, M., & Geertsema, M. (2009). Comparison of three landslide runout models on the Turnoff Creek rock avalanche, British Columbia. *Landslide processes: from geomorphology mapping to dynamic modelling. CERG Editions, Strasbourg(243-247)*.

Blagovechshenskiy, V., Eglit, M., & Naaim, M. (2002). The calibration of an avalanche mathematical model using field data. *Natural Hazards and Earth System Science, 2(3/4)*, 217-220.

Borstad, C., & McClung, D. (2009). Sensitivity analyses in snow avalanche dynamics modeling and implications when modeling extreme events. *Canadian Geotechnical Journal, 46(9)*, 1024-1033.

Bovet, E., Chiaia, B., & Preziosi, L. (2010). A new model for snow avalanche dynamics based on non-Newtonian fluids. *Meccanica, 45(6)*, 753-765.

Bovis, M. J., & Mears, A. I. (1976). Statistical prediction of snow avalanche runout from terrain variables in Colorado. *Arctic and Alpine Research*, 115-120.

Brugnot, G., & Pochat, R. (1981). Numerical simulation study of avalanches. *Journal of Glaciology, 27(95)*, 77-78.

Brun, E., Martin, E., Simon, V., Gendre, C., & Coleou, C. (1989). An Energy And Mass Model of Snow Cover Suitable For Operational Avalanche Forecasting. *Journal of Glaciology*, Vol. 35 (333-342).

Bütün, L. (2019). Ramms sayısal modeli ve Bozdağ uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*, 115 p. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Canadian Avalanche Association CCA . (2007). Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches. *Revelstoke (B.C.)*.

Casteller, A., Christen, M., Villalba, R., Martínez, H., Stöckli, V., Leiva, J., & Bartelt, P. (2008). Validating numerical simulations of snow avalanches using dendrochronology: the Cerro Ventana event in Northern Patagonia, Argentina. *Natural Hazards and Earth System Science, 8(3)*, 433-443.

Chalmers, T. S., & Jamieson, J. B. (2003). A Snow-Profile-Based Forecasting Model For Skier-Triggered Avalanches On Surface Hoar Layers In The Columbia Mountains Of Canada. *Cold Regions Science and Technology*, 37 (373–383).

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2010). *Numerical Methods for Engineers,Sixth Edition.* USA: Mc Graw Hill.

Christen, Bartelt, P., Kowalski, J., & Stoffel, L. (2008). Calculation of Dense Snow Avalanches in Three-Dimensional Terrain With The Numerical Simulation Program RAMMS. *International Snow Science Workshop Whistler 2008*, (s. 709-716). Whistler.

Christen, M., Bartelt, P., & Gruber, U. (2002). AVAL-1D: Numerische Berechnung von Fließ-und Staublawinen. *WSL-Institut für Schnee-und Lawinenforschung. Davos.*

Christen, M., Kowalski, J., & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology, 63(1)*, 1-14.

Conger, S. M., & McClung, D. M. (2009). Instruments and Methods Comparison of Density Cutters For Snow Profile Observations. *Journal of Glaciology*, Vol. 55 (163-169).

De Toni, S., & Scotton, P. (2005). Two-dimensional mathematical and numerical model for the dynamics of granular avalanches. *Cold regions science and technology, 43(1)*, 36-48.

Delparte, D., Jamieson, B., & Waters, N. (2008). Statistical runout modeling of snow avalanches using GIS in Glacier National Park, Canada. *Cold Regions Science and Technology, 54*, 183-192.

Demir, E. (2018). Çığ Hareketlerinin Sayısal Model İle İncelenmesi; Bozdağ Uygulaması. *Doktora Tezi*, 212 p. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Deubelbeiss, Y., & Graf, C. (2013). Two different starting conditions in numerical debris flow models–Case study at Dorfbach, Randa (Valais, Switzerland). *GRAF, C.(Red.) Mattertal–ein Tal in Bewegung. Publikation zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, 29*, 125-138.

Durak, E. (2011). Türkiye koşulları için çığ düşmesi sonucu bina hasar görebilirlik derecesinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Dutykh, D., Acary-Robert, C., & Bresch, D. (2011). Mathematical Modeling of Powder-Snow Avalanche Flows. *Studies in Applied Mathematics, 127(1)*, 38-66.

Eglit, M. E., & Yakubenko, A. E. (2014). Numerical modeling of slope flows entraining bottom material. *Cold regions science and technology, 108*, 139-148.

Étienne, J., Saramito, P., & Hopfinger, E. (2004). Numerical simulations of dense clouds on steep slopes: application to powder-snow avalanches. *Annals of Glaciology, 38(1)*, 379-383.

Fierz, C., & Gauer, P. (1998). Snow Cover Evolution In Complex Alpine Terrain: Measurements And Modeling Including Snow Drift Effects. *International Snow Science Workshop(ISSW), Sunriver,*, (s. 284-289). Oregon, USA.

Fischer, J. T., Kowalski, J., & Pudasaini, S. P. (2012). Topographic curvature effects in applied avalanche modeling. *Cold Regions Science and Technology, 74*, Vol74-75., pp.21-30.

Gauer , P., Kronholm, K., Lied, K., Kristensen, K., & Bakkehøi, S. (2010). Can we learn more from the data underlying the statistical α–β model with respect to the dynamical behavior of avalanches? *Cold Regions Science and Technology, 62*(1), 42-54.

Gauer. (2013). Comparison of avalanche front velocity measurements: Supplementary energy considerations. *Cold Regions Science and Technology, 96*, 17-22.

Gauer. (2014). Comparison of avalanche front velocity measurements and implications for avalanche models. *Cold Regions Science and Technology, 97(2014)*, 132-150.

Gauer, P., Issler, D., Lied, K., Kristensen, K., & Sandersen, F. (2008, September 21-27). On snow avalanche flow regimes: inferences from observations and measurements. *In Proceedings Whistler 2008 International Snow Science Workshop September, 2008*, 717.

Gauer, P., Kern, M., Kristensen, K., Lied , K., Rammer , L., & Schreiber, H. (2007). On pulsed Doppler radar measurements of avalanches and their implication to avalanche dynamics. *50(1)*, 55-71. Cold Regions Science and Technology.

Gauer, P., Medina-Cetina, Z., Lied, K., & Kristensen, K. (2009). Optimization and probabilistic calibration of avalanche block models. *Cold Regions Science and Technology, 59*(2), 251-258.

Glade, T., & Stötter, J. (2008). Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen, in Naturrisiken und Sozialkatastrophen (eds C. Flegentreff and T. Glade). *Springer Spektrum*, 151-162. Berlin, Heidelberg, German.

Granig, M., & Margreth, S. (2015). Avalanche Dynamics: Models and Impact. *The Technical Avalanche Protection Handbook*, 66. (F. Rudolf-Miklau, & S. Sauermoser, Derleyiciler)

Granig, M., Fischer, J., & Jörg, P. (2013). Systematic practical evaluation of snow entrainment with the avalanche simulation model SamosAT. *International Snow Science Workshop, Grenoble*, 599-603.

Grigorian, S., & Ostroumov, A. (1977). The mathematical model for slope processes of avalanche type (in Russian). Scientific Report 1955. *Institute for Mechanics, Moscow State University, Moscow, Russia.*

Gruber, U., & Bartelt, P. (2007). Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS. *Environmental Modelling & Software, 22(10)*, 1472-1481.

Gubler, H. (2005). Swiss avalanche-dynamics procedures for dense flow avalanches. *AlpuG, Davos, Switzerland.*

Gürer, İ. (2001). Türkiyede Çığ ile İlgili Yapılan Çalışmaların Tarihçesi ve İstatistiksel Değerlendirmeler. *I. Ulusal Kar ve Çığ Semineri*. Ankara: Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

Gürer, İ., & Koçyiğit, Ö. (1995). *Ağaçlandırma ve Orman Örtüsünün Kar, Kürtün ve Çığ Oluşumuna Etkileri*. Ankara: Orman Mühendisliği Dergisi.

Gürer, İ., & Koçyiğit, Ö. (1997a). Çığ Bariyerlerinin Projelendirilmesi. İzmir, Türkiye: İnşaat Mühendisleri Teknik Kongresi.

Gürer, İ., & Koçyiğit, Ö. (1997b). Kar Kuvvetlerinin Yapılar Üzerindeki Etkileri. Ankara: Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu DSİ Genel Müdürlüğü.

Gürer, İ., & Tunçel, H. (1995). Türkiye'deki Çığ Sorunu ve Bugünkü Durum. Ankara.

Gürer, İ., Koçyiğit, Ö., & Koç, M. (1996b). Türkiye'de Çığ Afetinin İnsan yerleşimleri Açısından Değerlendirilmesi. 17-22. Yapı Dünyası Dergisi.

Gürer, İ., Tümer, F., Yavaş, Ö., Erenbilge, T., & Koçyiğit, Ö. (1996a). *Türkiye'deki Çığ Probleminin Çözümünde Uluslararası İşbirliği*. Ankara, Türkiye: Symposium on International Cooperation in Disasters.

Harbitz, C. (1998). Snow avalanche modelling, mapping and warning in Europe (SAME). *Harbitz CB In A report of the fourth European framework programme: environment and climate Oslo: Norwegian Geotechnical Institute.*

Hussin, H., Quan Luna, B., Van Westen, C., Christen, M., Malet, J., & 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.

Hutter, K., Wang, Y., & Pudasaini, S. (2005). The Savage–Hutter avalanche model: how far can it be pushed? . *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 363(1832)*, 1507-1528.

Issler. (2003). Experimental information on the dynamics of dry-snow avalanches. Dynamic Response of granular and porous materials under large and catastrophic deformations. *11*, 109-160.

Issler, D., & Pastor, P. M. (2011). Interplay of entrainment and rheology in snow avalanches: a numerical study. *Annals of Glaciology, 52(58)*, 143-147.

Issler, D., Lied, K., Rammer, L., Revol, P., Sabot , F., & Sovilla, B. (1999). European avalanche test sites: overview and analysis in view of coordinated experiments.

Jamieson, B., & Schweizer, J. (2005). Using A Checklist to Assess Manual Snow Profiles. *Avalanche News*, 72 (57-61).

Jamieson, B., Margreth, S., & Jones, A. (2008). Application and limitations of dynamic models for snow avalanche hazard mapping. *In Proceedings Whistler 2008 International Snow Science Workshop September 21-27,2008*, 730.

Johnston, K., Jamieson , B., & Jones, A. (2011). Estimating extreme snow avalanche runout for the Columbia Mountains, British Columbia, Canada. *In Proceedings of yhe 5th Canadian Conference on Geotechnique and Nayural Hazards.* Kelowna.

Jones, A., & Jamieson, B. (2004). Statistical avalanche-runout estimation for short slopes in Canada. *Annals of Glaciology, 38*(1), 363-372.

Jörg, P., Sampl, P., & Granig, M. (2010). Implementation of a new suspension model and calibration of the powder snow layer in SamosAT. *European Geophysical Union General Assembly, Vienna*.

Kern, Bartelt, P., Sovilla, B., & Buser, O. (2009). Measured shear rates in large dry and wet snow avalanches. *Journal of Glaciology(190)*, 327-338.

Kern, M., Bartelt, P., & Sovilla, B. (2010). Velocity profile inversion in dense avalanche flow. *51*(54), 27-31.

Kern, M., Tiefenbacher, F., & McElwaine, J. (2004). The rheology of snow in large chute flows. *Cold Regions Science and Technology, 39(2)*, 181-192.

Kitahara, I., Yoshimatsu, H., & Fujisawa, K. (1991). Study of the Mechanics of Debris Flow and its Simulation Model. *Landslides, 28(2)*.

Koçyiğit, Ö. (1997). Çığ Bariyerlerinin Hidrolik Boyutlandırılması. 152. Ankara, Gazi Ünv., Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D.

Koçyiğit, Ö., & 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., & 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, R., & Leo, B. (1994). Model for Avalanches in Three Spatial Dimensions. Comparison of Theory to Experiments (No. CRREL-94-5). *Cold Regions Research And Engıneering Lab Hanover Nh.*

Leitinger, G., Höller, P., Tasser , E., Walde , J., & Tappeiner, U. (2008). Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling, 211(3)*, 363-374.

Lied, K., & Bakkehoi, S. (1980). Empirical calculations of snow avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology, 26*, 165 – 177.

Loat, R. (2005). Die Gefahrenzonenplanung in der Schweiz. *Journal for Torrent, Avalanche and Erosion Control, 152*, 77-92.

Luna, B., Remaître, A., Van Asch, T., Malet, J., & Van Westen, C. (2012). Analysis of debris flow behavior with a one dimensional run-out model incorporating entrainment. *Engineering geology, 128*, 63-75.

Maggioni, M., & Gruber, U. (2003). The Influence of Topographic Parameters On Avalanche Release Dimension and Frequency. *Cold Regions Science and Technology* , 37 (407-419).

Maggioni, M., Gruber, U., & Stoffel, A. (2002). Definition and characterisation of potential avalanche release areas. *In Proceedings of the ESRI Conference*. San Diego, USA.

Mangenet-Castelnau, A., Vilotte, J.-P., Bristeau, M. O., Perthame, B., Bouchut, F., Simeoni, C., & Yemeni , S. (2003). Numerical modeling of avalanches based on Saint Venant equations using a kinetic scheme. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108(B11)*.

Mangeney, A., Heinrich, P., & Roche, R. (2000). Analytical solution for testing debris avalanche numerical models. *Pure and Applied Geophysics, 157(6-8)*, 1081-1096.

Mangeney, A., Tsimring, L., Colfson, D., Aranson, I., & Bouchut, F. (2007). Avalanche mobility induced by the presence of an erodible bed and associated entrainment. *Geophysical Research Letters, 34(22)*.

Margreth, S. (2015). Avalanche dynamics: models and impact. *The Technical Avalanche Protection Handbook*. (F. Rudolf-Miklau, & S. Sauermoser, Dü)

McClung. (1990). A Modal for Scaling Avalanche Speeds. *Journal of Glaciology, 36*(123), 188-198.

McClung. (1999). The encounter probability for mountain slope hazards. *Can. Geotech. J., 36*, 1195-1196.

McClung. (2000). Extreme avalanche runout in space and time. *Canadian Geotechnical Journal, 37(1)*, 161-170.

McClung. (2001). Extreme avalanche runout: a comparison of empirical models. *Can. Geotech, 38*, 1254-1265.

McClung, D. M. (2001). Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. *Annals of Glaciology, 32(1)*, 223-229.

McClung, D. M. (2013). Effects of triggering mechanism on snow avalanche slope angles and slab depths from field data. *Natural hazards, 69(3)*, 1721-1731.

McClung, D. M., & Lied., K. (1987). Statistical and geometrical definition of snow avalanche runout. *Cold Reg. Sci. Technol., 13*(2), 107-119.

McClung, D. M., & Schaerer, P. A. (1983). Determination of avalanche dynamics friction coefficients from measured speeds. *Annals of Glaciology, 4(1)*, 170-173.

McClung, D., & Mears, A. (1991). Extreme value prediction of snow avalanche runout. *Cold Regions Science and Technology, 19*(2), 163-175.

McKittrick, L. R., & Brown, R. L. (1993). A statistical :model for :maxi:mu:m avalanche run-out distances in southwest Montana. *International Glaciological Society, 18*, 295-299.

Mergili, M., Schratz, K., Ostermann, A., & Fellin, W. (2012). Physically-based modelling of granular flows with Open Source GIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 12(1)*, 187.

Meyapin, Y., Dutykh, D., & Gisclon, M. (2011). Two-fluid barotropic models for powder-snow avalanche flows. *In Computational Science and High Performance Computing IV*, 219-232.

Naaim, M. (1998). Dense Avalacnhe Numerical Modeling Interaction Between Avalanche and Structures. *Publikasjon-Norges Geotekniske Institutt, 203*, 187-191.

Naaim, M., & Ancey, C. (1992). Dense Avalacnhe Model. *European Summer University, Chamonix, Cemagref Publications*, 173-181.

Naaim, M., Faug, T., & Naaim-Bouvet, F. (2003). Dry granular flow modelling including erosion and deposition. *Surveys in geophysics, 24(2)*, 569-585.

Nixon, D., & McClung, D. (1993). Snow avalanche runout from two Canadian mountain ranges. *Annals of Glaciology, 18*(1), 1-6.

Norem, H., Irgens, F., & Schieldrop, B. (1987). A continuum model for calculating snow avalanche velocities. *Proceedings of Avalanche Formation, Movements and Effects, IAHS Publication*, 363-379.

Norem, H., Irgens, F., & Schieldrop, B. (1989). Simulation of snow-avalanche flow in run-out zones. *Annals of Glaciology(13)*, 218-225.

Oberndorfer, S., & Granig, M. (2007). Modellkalibrierung des Lawinensimulationsmodells SamosAT. *Austrian Service for Torrent and Avalache Control, Schwaz 2007*.

Oller, P., Janeras, M., de Buen, H., Arnó, G., Christen, M., García, C., & Martínez, P. (2010). Using AVAL-1D to simulate avalanches in the eastern Pyrenees. *Cold Regions Science and Technology, 64(2)*, 190-198.

Perla, R., Cheng, T., & McClung, D. (1980). A two–parameter model of snow–avalanche motion. *Journal of Glaciology, 26(94)*, 197-207.

Pielmeier, C., & Schneebeli, M. (2003). Stratigraphy And Changes in Hardness of Snow Measured by Hand, Ramsonde and Snow Micro Penetrometer:A Comparison with Planar Sections. *Cold Regions Science and Technology*, 37 (393–405).

Pielmeier, C., & Schweizer, J. (2007). Snowpack Stability Information Derived From The Snowmicropen Signal",. *Cold Regions Science and Technology*, 47 (102–107.).

Pudasaini, S., Wang, Y., & Hutter, K. (2005). Rapid motions of free-surface avalanches down curved and twisted channels and their numerical simulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 363(1832)*, 1551-1571.

Rammer, L., Kern, M., Gruber, U., & Tiefenbacher, F. (2007). Comparison of avalanche-velocity measurements by means of pulsed Doppler radar, continuous wave radar and optical methods. *50(1)*, 35-54. Cold Regions Science and Technology.

Rapin, F. (2002). A new scale for avalanche intensity. *International Snow Science Workshop Penticton*. British Columbia.

Rice, R., & Decker, R. (2005). Modeling waves and short-lived peak velocities and impact loads associated with snow avalanches. *Cold regions science and technology, 41(3)*, 221-233.

Rögnvaldsson, Ó., Ólafsson, H., & Ágústsson, H. (2005). Applications Of Numerical Simulations To Investigate Snow Accumulation For The Estımatıon Of Avalanche Risk In Mountainous Terrain. *Hrvatski meteorološki časopis, 40(40)*, 701-704.

Rudolf-Miklau, F., Sauermoser , S., & Mears , A. (2014). *The Technical Avalanche Protection Handbook.* John Wiley& Sons.

Sailer, R., Fellin, W., Fromm, R., Jörg, P., Rammer, L., Sampl, P., & Schaffhauser, A. (2008). Snow avalanche mass-balance calculation and simulation-model verification. *Annals of Glaciology, 48(1)*, 183-192.

Salm, B. (1966). Contribution to avalanche dynamics. *Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, 1965. 69*, s. 199-214. Davos: International Association of Scientific Hydrology Pubblication.

Salm, B. (1982). Mechanical properties of snow. *Reviews of Geophysics, 20(1)*, 1-19.

Salm, B. (1993). Flow, flow transition and runout distances of flowing avalanches. *In: Annals of Glaciology, 18*, 221-226.

Salm, B. (2004). A short and personal history of snow avalanche dynamics. *Cold Regions Science and Technology, 39(2)*, 83-92.

Salm, B., Burkhard, A., & Gubler, H. (1990). Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Eidgen. Inst. für Schnee-und Lawinenforschung.*

Sampl, P. (2007). SamosAT–Modelltheorie und Numerik. *AVL List GmbH, Graz*.

Sartoris, G., & Bartelt, P. (2000). Upwinded finite difference schemes for dense snow avalanche modeling. *International Journal for Numerical Methods in Fluids, 32(7)*, 799-821.

Sauermoser, S., Granig, M., Kleemayr, K., & Margreth, S. (2015). Avalanche Dynamics: Models and Impact, The Technical Avalanch Protection Handbook. 55. (F. Rudolf-Miklau, & S. Sauermoser, Derleyiciler)

Schaerer, P., & McClung, D. (2006). The Avalanche Handbook. *3rd edn,Mountaineers Books Seattle.*

Schweizer, J., & Jamieson, J. B. (2003). Snowpack Properties For Snow Profile Analysis. *Cold Regions Science and Technology*, 37 (233-241).

Schweizer, J., & Jamieson, J. B. (2007). A Threshold Sum Approach To Stability Evaluation Of Manual Snow Profiles. *Cold Regions Science and Technology*, 47 (50–59).

Sinickas, A., & Jamieson, B. (2014). Comparing methods for estimating β points for use in statistical snow avalanche runout models. *Cold Regions Science and Technology, 104-105*, 23-32.

SLF. (2013). RAMMS(Rapid Mass Movements Simulation) User Manual v1.5 Avalanche. *A numerical model for snow avalanches in research and practice*. Switzerland: WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF.

SLF. (2015). http://www.slf.ch/ueber/geschichte/anfaenge_lawinenforschung/ adresinden alındı

Smith, M. J., & McClung, D. M. (1997). Avalanche frequency and terrain characteristics at Rogers' Pass, British Columbia, Canada. *Journal of glaciology, 43(143)*, 165-171.

Sovilla, B., Margreth, S., & Bartelt, P. (2007). On snow entrainment in avalanche dynamics calculations. *Cold Regions Science and Technology, 47(1)*, 69-79.

Sovilla, B., Schaer, M., & Rammer, L. (2008). Measurements and analysis of full-scale avalanche impact pressure at the Vallée de la Sionne test site. *Cold Regions Science and Technology, 51(2)*, 122-137.

Tai, Y., Noelle, S., Gray, J. M. N. T, J., & Hutter, K. (2002). Shock-capturing and front-tracking methods for granular avalanches. *Journal of Computational Physics, 175(1)*, 269-301.

Takeuchi, Y., Yamanoi, K., Endo , Y., Murakami, S., & Izumi , K. (2003). Velocities for the dry and wet snow avalanches at Makunosawa valley in Myoko, Japan. *Cold regions science and technology, 37(3)*, 483-486.

Tiefenbacher, F., & Kern, M. (2004). Experimental devices to determine snow avalanche basal friction and velocity profiles. *Cold regions science and technology, 38(1)*, 17-30.

Turnbull, B., & Bartelt, P. (2003). Mass and momentum balance model of a mixed flowing/powder snow avalanche. *Surveys in geophysics, 24(5)*, 465-477.

Turnbull, B., & McElwaine, J. (2007). A comparison of powder-snow avalanches at Vallée de la Sionne, Switzerland, with plume theories. *Journal of Glaciology, 53(180)*, 30-40.

Uçar, İ. (2014). Modelleme çalışmalarıyla çığ tehlike haritalarının Oluşturulması ve modelleme girdilerinin çığ akımı Üzerindeki etkileri: Çoruh havzası örneği. *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

UNESCO. (1981). Lawinen-Atlas. Bebilderte Internationale Lawinen klassifikation. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*. Paris.

Vallet, J., Trunbull, B., Joly, S., & Dufour, F. (2004). Vallet, J., Turnbull, B., Joly, S., & Dufour, F. (2004). Observations on powder snow avalanches using videogrammetry. *39*, 153-159. Cold regions science and technology.

Voellmy, A. (1955). *Uber die Zerstorunskraft von Lawinen, Schweizerische Bauzetung. (English: On the Destructive Force of Avalanches.).* (T. R. E., Çev.) U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service.

Volk, G. (2005). Handbuch ELBA+, NİT Technisches Büro GmbH. Pressbaum, (in German).

Volk, G., & Kleemayr, K. (1999). Lawinensimulationsmodell ELBA. Journal for Torrent. *Avalanche and Erosion Control*, 23-32. (in German).

Wang, Y., & Hutter, K. (2001). Comparisons of numerical methods with respect to convectively dominated problems. *International journal for numerical methods in fluids, 37(6)*, 721-745.

Wang, Y., Hutter, K., & Pudasaini, S. (2004). The Savage-Hutter theory: A system of partial differential equations for avalanche flows of snow, debris, and mud. *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, 84(8)*, 507-527.

Wiesinger, T., & Schweizer, J. (2000). Snow Profıle Interpretation. *Proceedings International Snow Science Workshop, Big Sky, 2-6 October (2000)*, (s. 1–7). Montana, USA.

WSL. (1990). Institute for Snow and Avalanche Research SLF . *Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Swiss Agency for the Environment. Forests and Landscape (SAEFL) Bern (in German)*.

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

Zahibo, N., Pelinovsky, E., Talipova, T., & Nikolkina, L. (2010). Savage-Hutter model for avalanche dynamics in inclined channels: Analytical solutions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 115(B3)*.

Zeidler, A., & Jamieson, B. (2006(a)). Refinements of Empirical Models to Forecast The Shear Strength Of Persistent Weak Snow Layers PART A: Layers Of Faceted Crystals. *Cold Regions Science and Technology*, 44 (194–205).

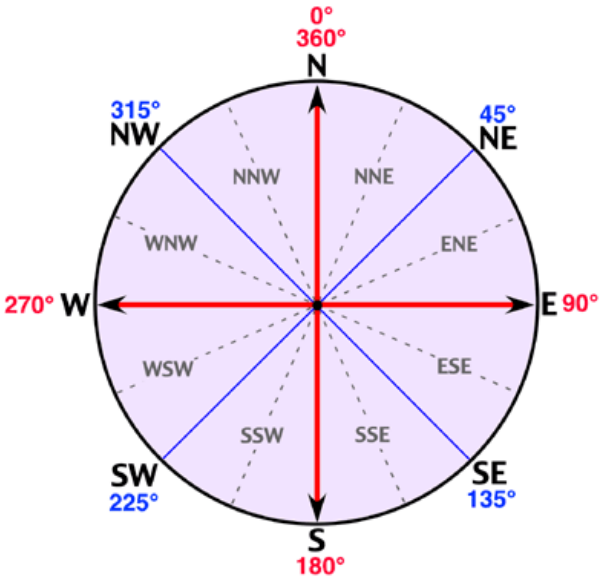
Zeidler, A., & Jamieson, B. (2006(b)). Refinements of Empirical Models to Forecast The Shear Strength Of Persistent Weak Snow Layers PART B: Layers Of Surface Hoar Crystals. *Cold Regions Science and Technology*, 44 (184–193).

EK

EK-1 (İstasyona Ait Veriler)

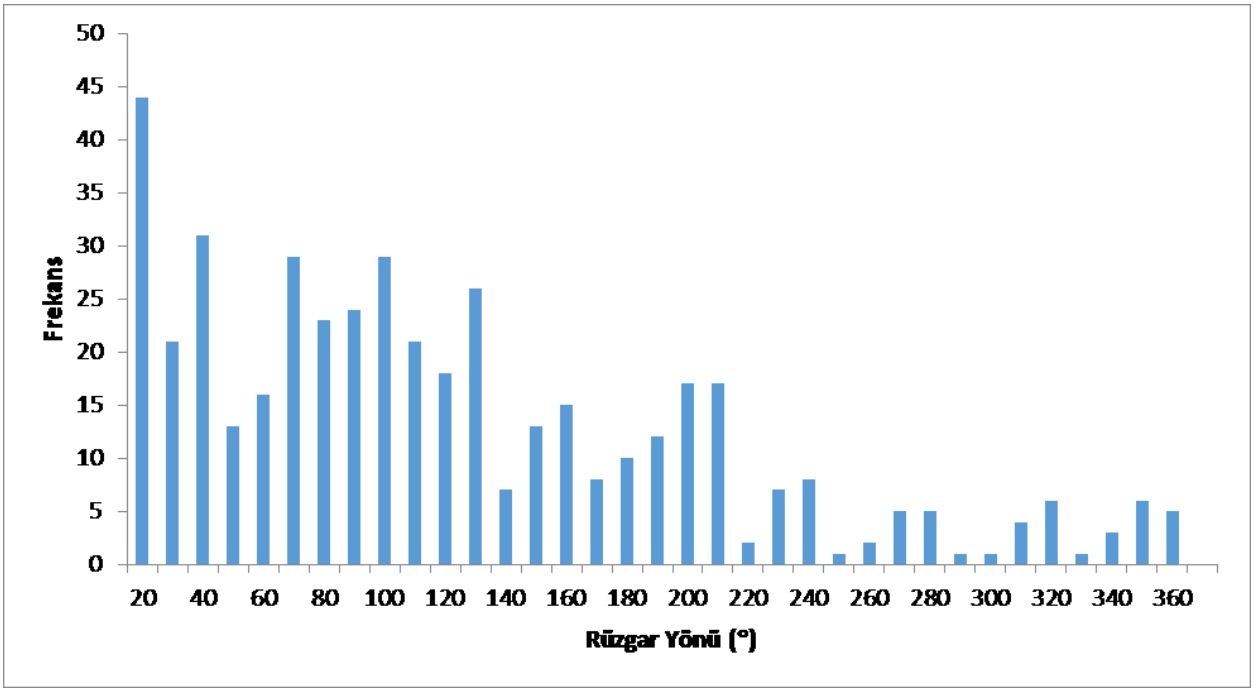
Rüzgar Yönü:

Rüzgar yönünü belirlemek için ölçüm aralığı 0 - 360°, çözünürlük 5°'den daha az, doğruluğu ± 5° ve çalışma sıcaklığı -50 ile +50 °C olan ısıtıcısız tip sensör kullanılmıştır. Otomatik istasyonda anemometre için 0° kuzey olarak ayarlanmıştır (Şekil 196).



Şekil 196. Rüzgar Yönleri

Rüzgar yönü ölçümlerinde amaç hakim rüzgar yönünü bulmaktır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 zaman dilimlerine ait günlük ortalama rüzgar yön rasatları kullanılarak histogram çizilmiştir (Şekil 197)



Şekil 197. Rüzgar Yönü Histogramı

Şekil 197'e göre rüzgar yön frekansları 0° civarında yığıldığından sahada hakim rüzgar yönü kuzeydir. Rüzgar yönü sürekli değişim göstermektedir. Bu değişim miktarı Tablo 1'de gösterilmiştir. Hakim rüzgar yönünün standart sapmasını 85°'dir.

Tablo 1. Rüzgar yönü tanımlayıcı istatistik bilgileri

	Yön (°)
Ortalama	117.4
Standart Hata	3.991812
Medyan	99.02
Mod	233.3
Standard Sapma	84.86709
Varyans	7202.423
Basıklık	0.335336
Çarpıklık	0.923932
Aralık	358.98
Minimum	0.42
Maksimum	359.4

Rüzgar Hızı:

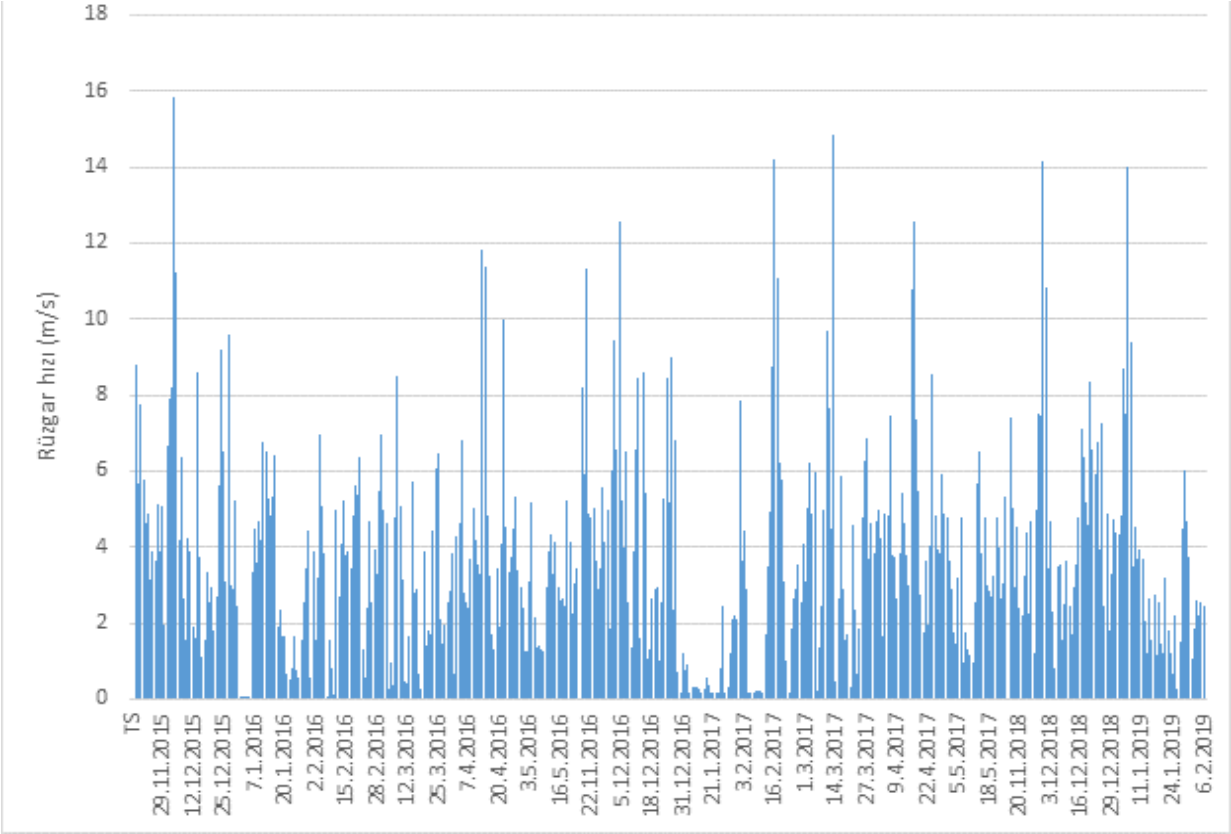
Rüzgar hızını belirlemek için ölçüm aralığı 0 - 50 m/sn, eşik değeri 0.5 m/sn daha az, doğruluğu 0.5 m/sn ve çalışma sıcaklığı -50 ile +50 °C olan ısıtıcısız tip sensör kullanılmıştır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemlerine ait günlük ortalama rüzgar hızı Şekil 198'da; günlük maksimum rüzgar hızı ise Şekil 199'de verilmiştir. Rüzgar hızı istatistikleri aylık periyodlar halinde Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Rüzgar hızı istatistikleri

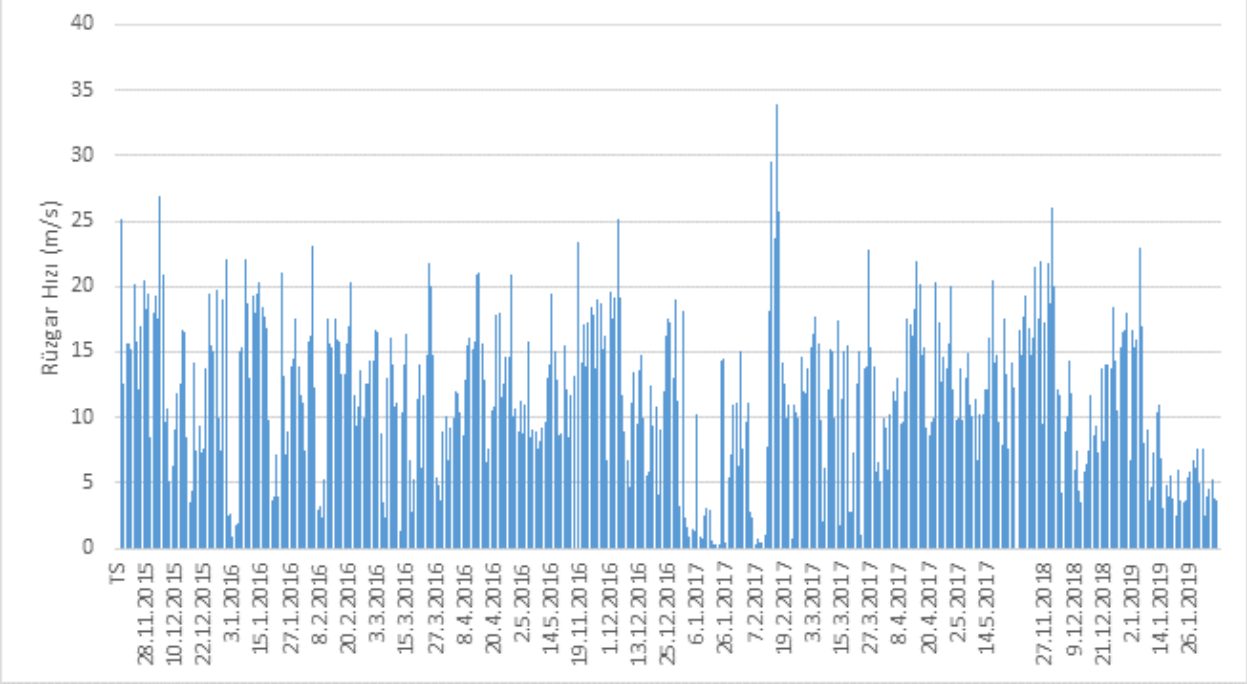
Dönem	**Ortalama (m/s)**	**Standart Sapma**	**Maksimum Ortalama (m/s)**
Kasım 2015	4.94	1.83	16.62
Aralık 2015	4.91	3.42	13.07
Ocak 2016	2.60	2.18	12.07

Dönem	Ortalama (m/s)	Standart Sapma	Maksimum Ortalama (m/s)
Şubat 2016	3.50	1.88	12.84
Mart 2016	3.06	2.23	10.71
Nisan 2016	4.26	2.64	13.01
Mayıs 2016	2.85	2.22	11.32
Kasım 2016	5.13	2.43	16.29
Aralık 2016	4.59	3.20	12.58
Ocak 2017	0.71	0.76	4.33
Şubat 2017	3.51	3.53	11.00
Mart 2017	4.21	11.28	3.19
Nisan 2017	4.87	2.44	13.61
Mayıs 2017	3.16	1.67	12.13
Kasım 2018	4.96	3.23	18.02
Aralık 2018	4.38	2.23	11.13
Ocak 2019	3.69	2.94	7.76
Şubat 2019	3.69	2.94	7.76

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'e göre Kasım – Aralık ve Nisan aylarında rüzgar hızları yüksek değerlere ulaşmaktadır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemleri boyunca ortalama rüzgar hızı 3.7 m/s olarak saptanmıştır. Bu verilere iklim şartlarının oluşturduğu sensör donmasından dolayı elde edilemeyen veriler dahil değildir.



Şekil 198. Ortalama rüzgar hızı



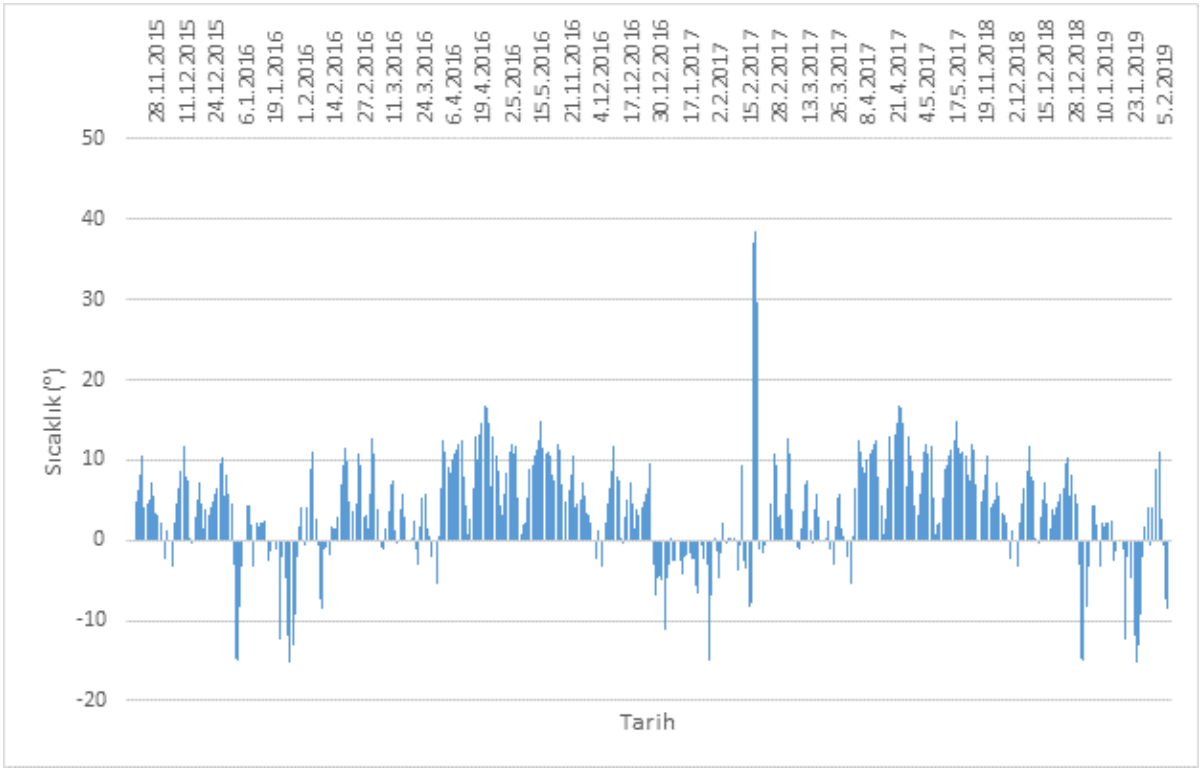
Şekil 199. Maksimum rüzgar hızı

Hava Sıcaklığı:

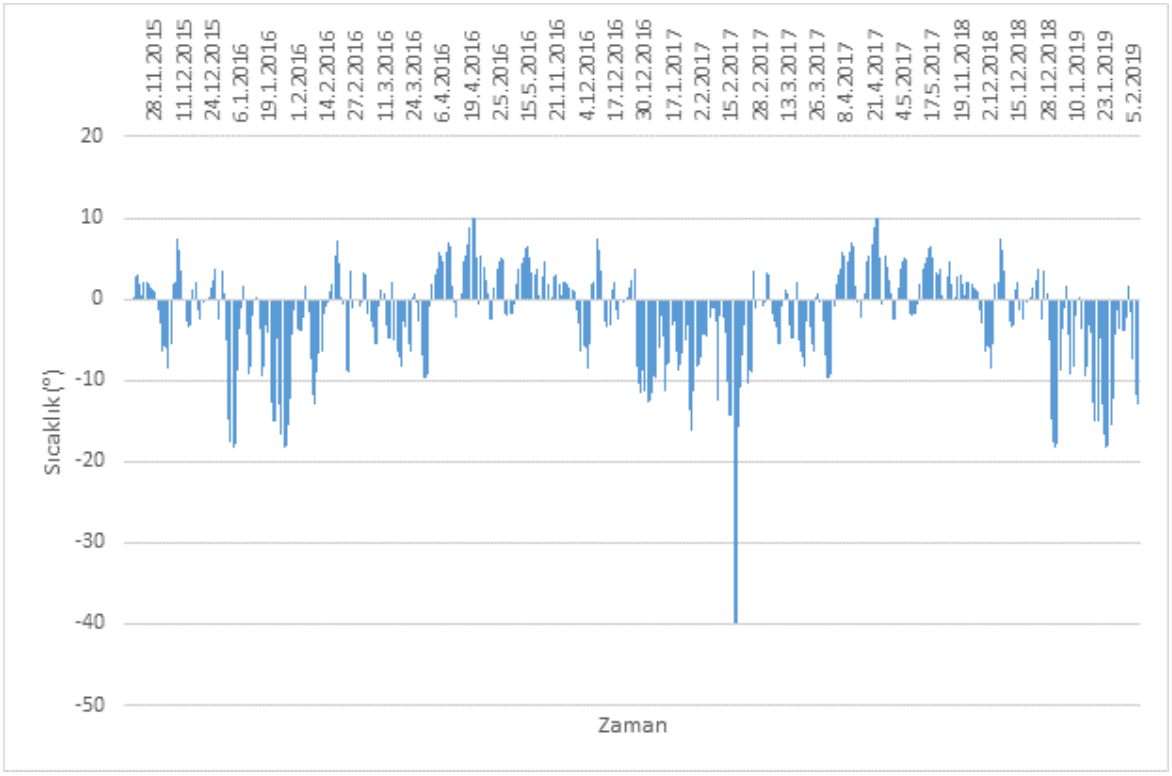
Hava sıcaklığı sensörünün ölçüm aralığı -50 °C - +100°C ve doğruluğu ± 0.1 °C olacak şekilde teşkil edilmiştir. Tüm döneme ait maksimum hava sıcaklıkları Şekil 200'da; minimum hava sıcaklıkları ise Şekil 201 verilmiştir. Hava sıcaklıkları istatistikleri ise Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Hava Sıcaklıkları İstatistikleri

Dönem	Minimum Ortalama (°C)	Minimum Standart Sapma	Maksimum Ortalama (°C)	Maksimum Standart Sapma
Kasım 2015	1.04	1.67	4.97	2.67
Aralık 2015	-1.06	4.58	4.34	3.85
Ocak 2016	-8.68	6.49	-3.07	6.21
Şubat 2016	-2.24	5.02	3.37	5.09
Mart 2016	-3.43	3.71	2.25	3.97
Nisan 2016	3.56	3.44	9.72	4.04
Mayıs 2016	2.60	2.80	8.98	3.71
Kasım 2016	1.04	1.67	4.97	2.67
Aralık 2016	-2.51	5.42	2.18	5.36
Ocak 2017	-8.05	3.67	-3.14	3.25
Şubat 2017	-8.25	10.24	3.94	11.92
Mart 2017	-3.14	3.60	2.26	3.94
Nisan 2017	3.01	4.24	9.22	4.44
Mayıs 2017	2.60	2.70	9.04	3.58
Kasım 2018	-1.82	6.15	3.41	6.07
Aralık 2018	-7.77	6.08	-1.98	5.47
Ocak 2019	-5.72	5.90	1.02	8.14



Şekil 200. Maksimum hava sıcaklığı



Şekil 201. Minimum hava sıcaklığı

Pilot bölgenin en düşük sıcaklıklara ulaştığı dönem Aralık, Ocak, Şubat ve Marttır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemleri boyunca maksimum ortalama sıcaklık 3.6°C, minimum ortalama sıcaklık ise -2.3°C'dir. Tüm dönemin standart sapması ise 6.6 °C olarak hesaplanmıştır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemlerine ait günlük maksimum hava sıcaklığı Şekil 200'da; günlük minimum hava sıcaklığı ise Şekil 201'de verilmiştir.

8 Noktada Sıcaklık

Kar tabakalarının sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla istasyon direği üzerine 8 adet sensör koyulmuştur. Bu sensörlerin yerden yükseklikleri gösterilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Sıcaklık sensör yerleri

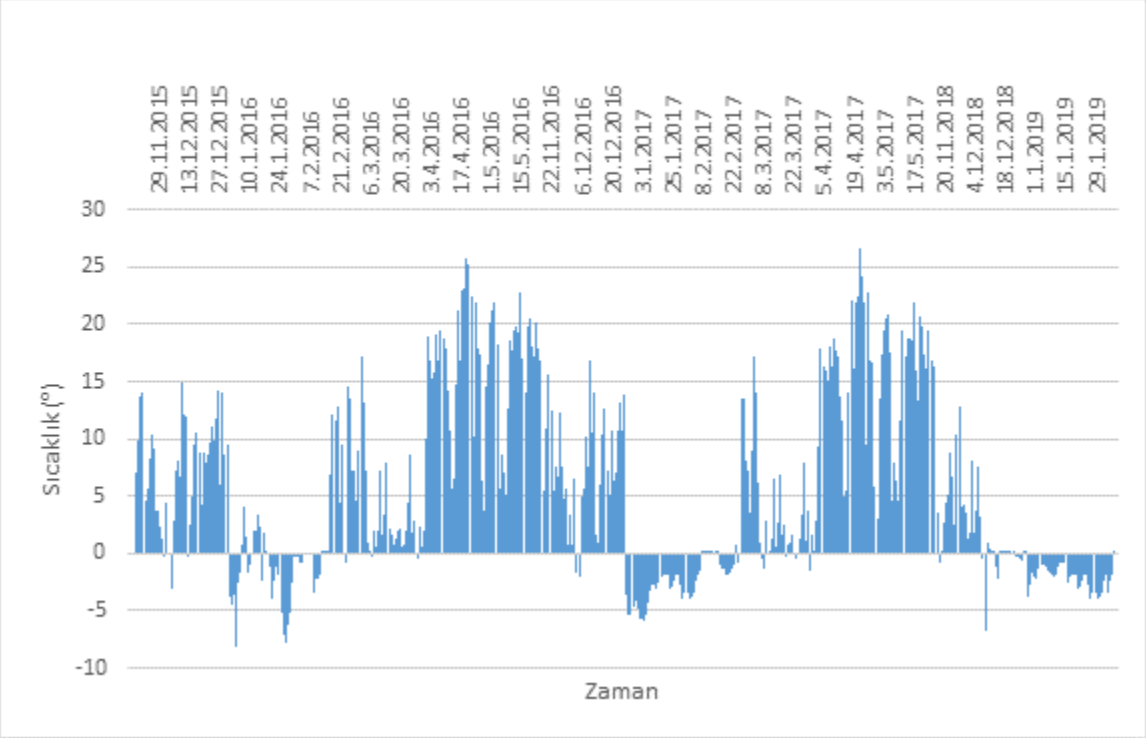
Sensör Adı	Yerden Yükseklik (cm)	Sensör Adı	Yerden Yükseklik (cm)
N1	10	N1	102
N2	22	N2	130
N3	50	N3	156
N4	78	N4	185

8 adet sıcaklık sensöre ait Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemleri ölçüm sonuçları N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8 için maksimum sıcaklıklar sırasıyla Şekil 202, Şekil 204, Şekil 206, Şekil 208, Şekil 210, Şekil 212, Şekil 214 ve Şekil 216'de; minimum sıcaklıklar Şekil 203, Şekil 205, Şekil 207, Şekil 209, Şekil 211, Şekil 213, Şekil 215 ve Şekil 217 verilmiştir. Bu sensörlere ait istatistikler ise Tablo 5'de sunulmuştur.

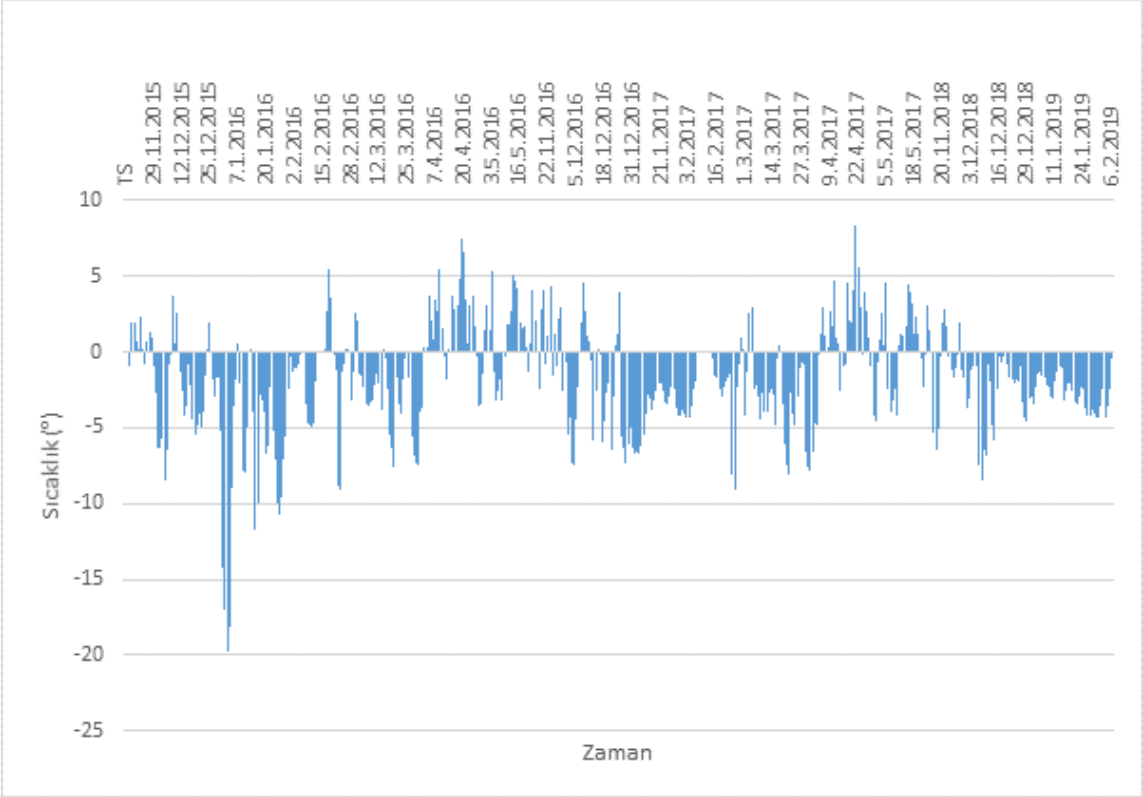
Tablo 5. Sıcaklık sensörlerine ait istatistikler

Sensör	Minimum Ortalama	Minimum Standart Sapma	Maksimum Ortalama	Maksimum Standart Sapma
N1	-1.85	3.59	5.53	8.02
N2	-2.54	4.58	4.75	7.53

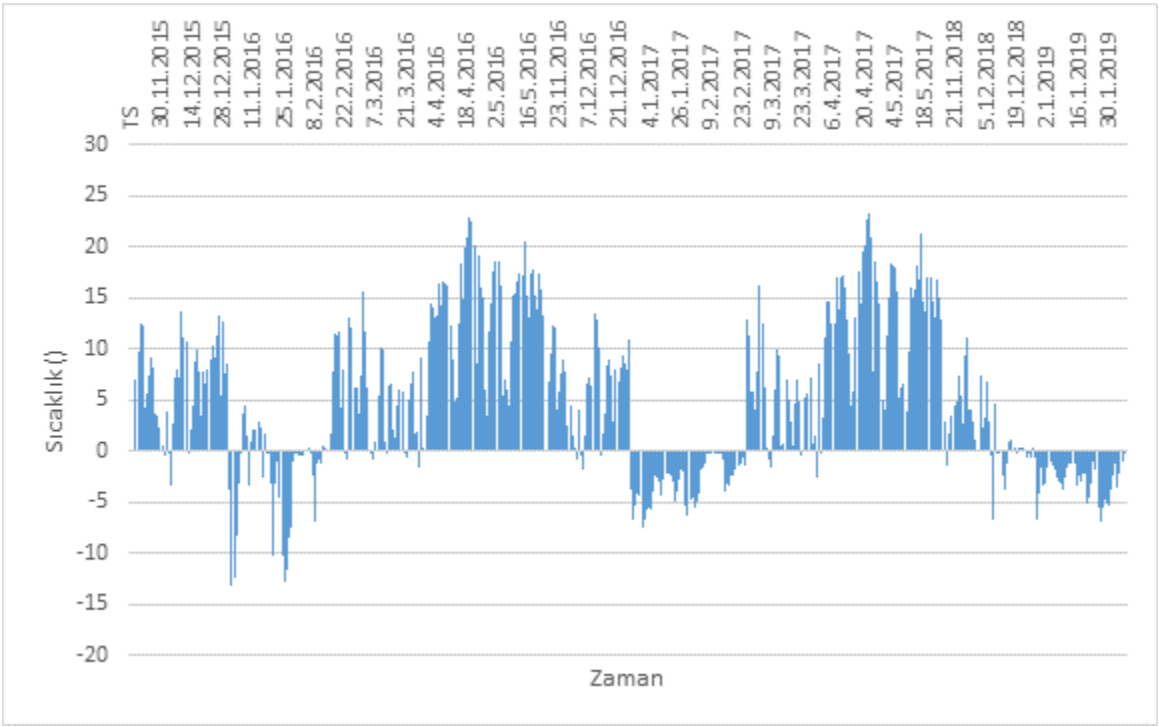
Sensör	Minimum Ortalama	Minimum Standart Sapma	Maksimum Ortalama	Maksimum Standart Sapma
N3	-3.12	5.39	4.56	7.27
N4	-3.06	5.43	4.51	7.18
N5	-2.89	5.43	4.12	6.90
N6	-2.09	5.68	5.15	6.72
N7	-0.79	10.27	8.40	15.10
N8	-2.85	5.48	3.82	6.83



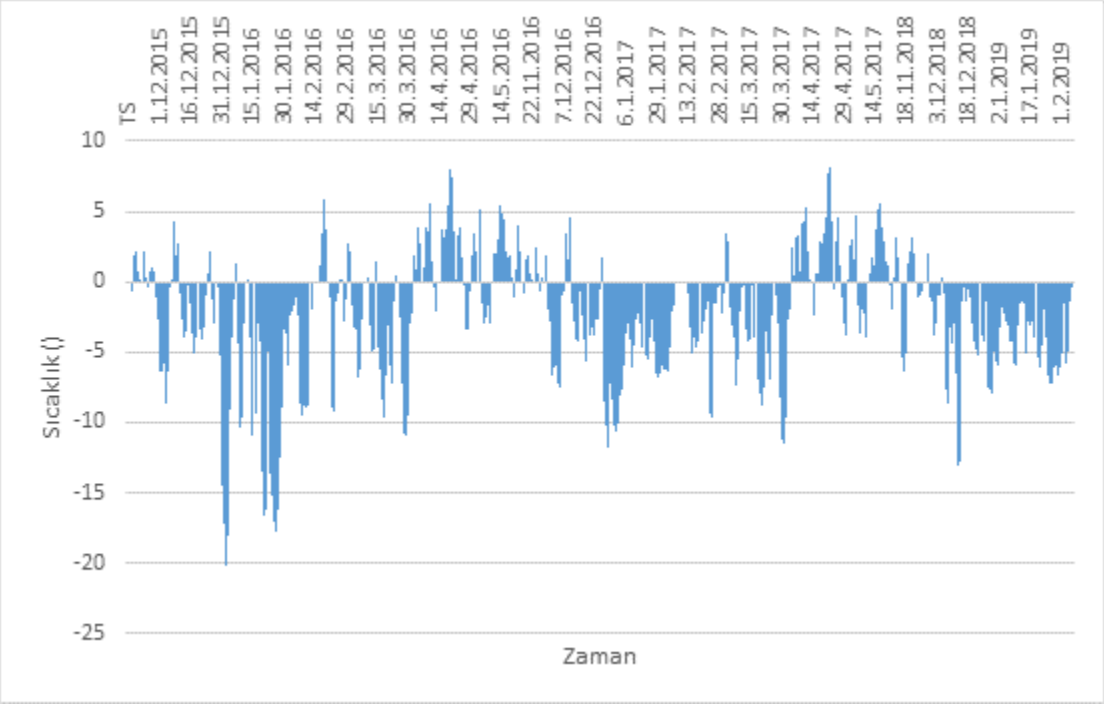
Şekil 202. N1 Konumu maksimum sıcaklık



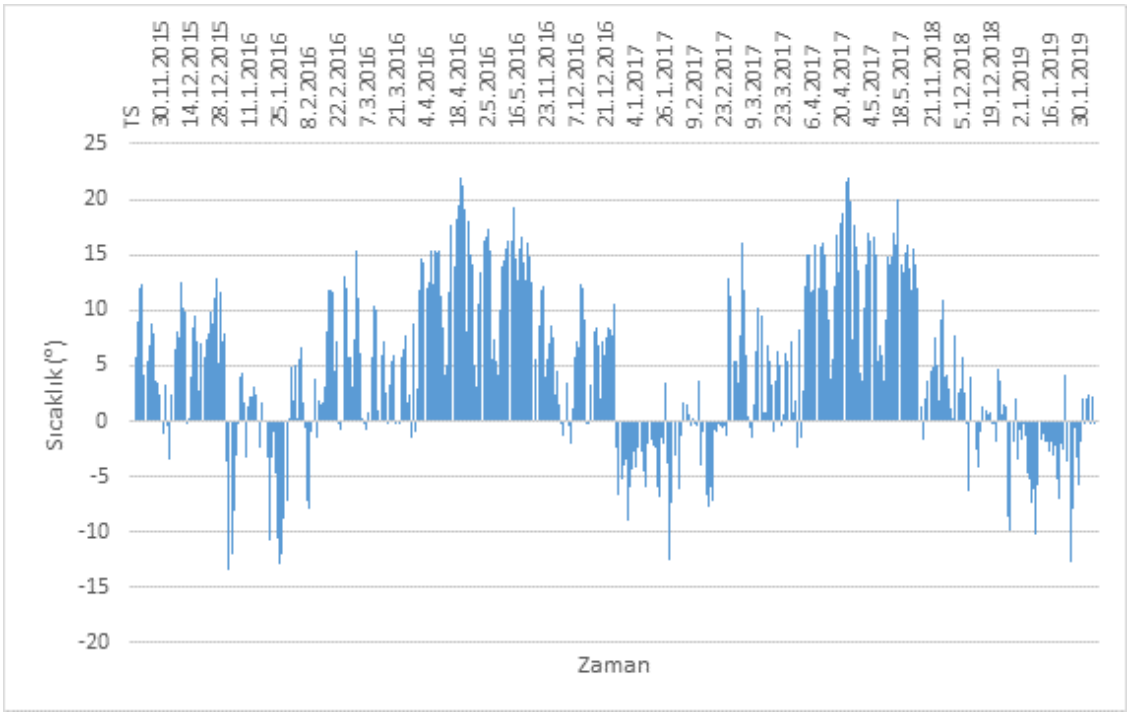
Şekil 203. N1 Konumu minimum sıcaklık



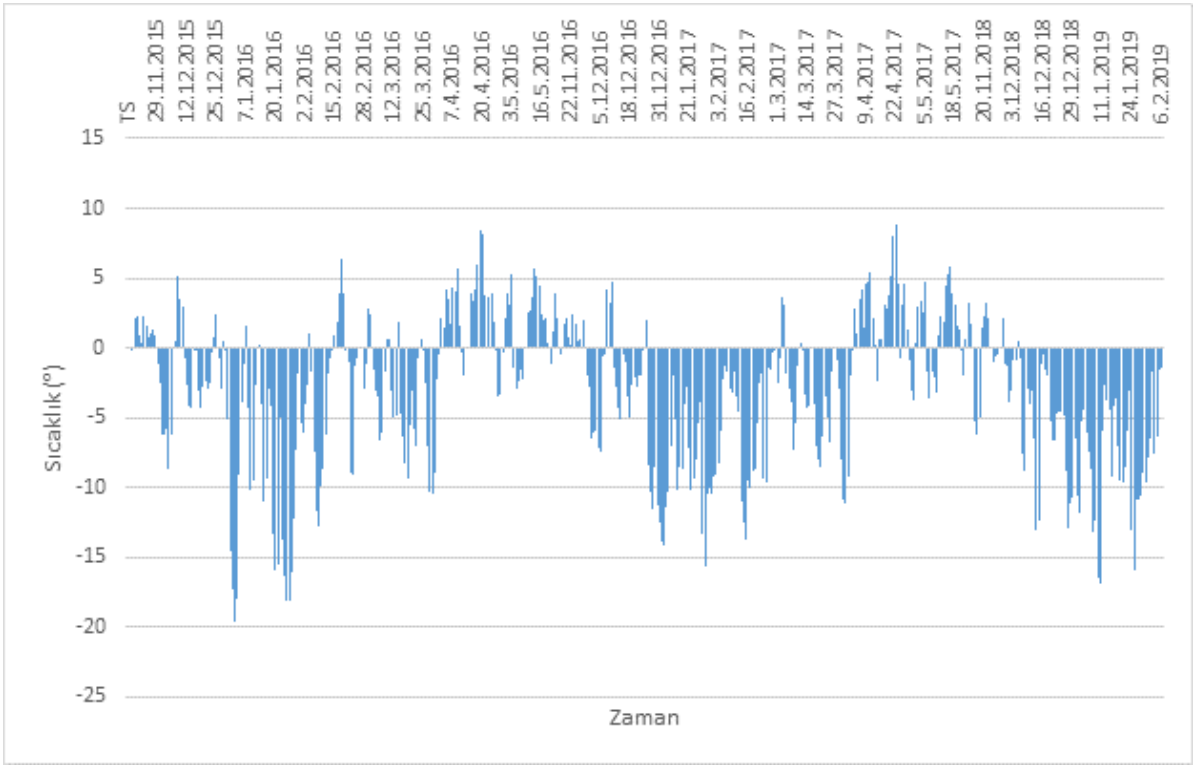
Şekil 204. N2 Konumu maksimum sıcaklık



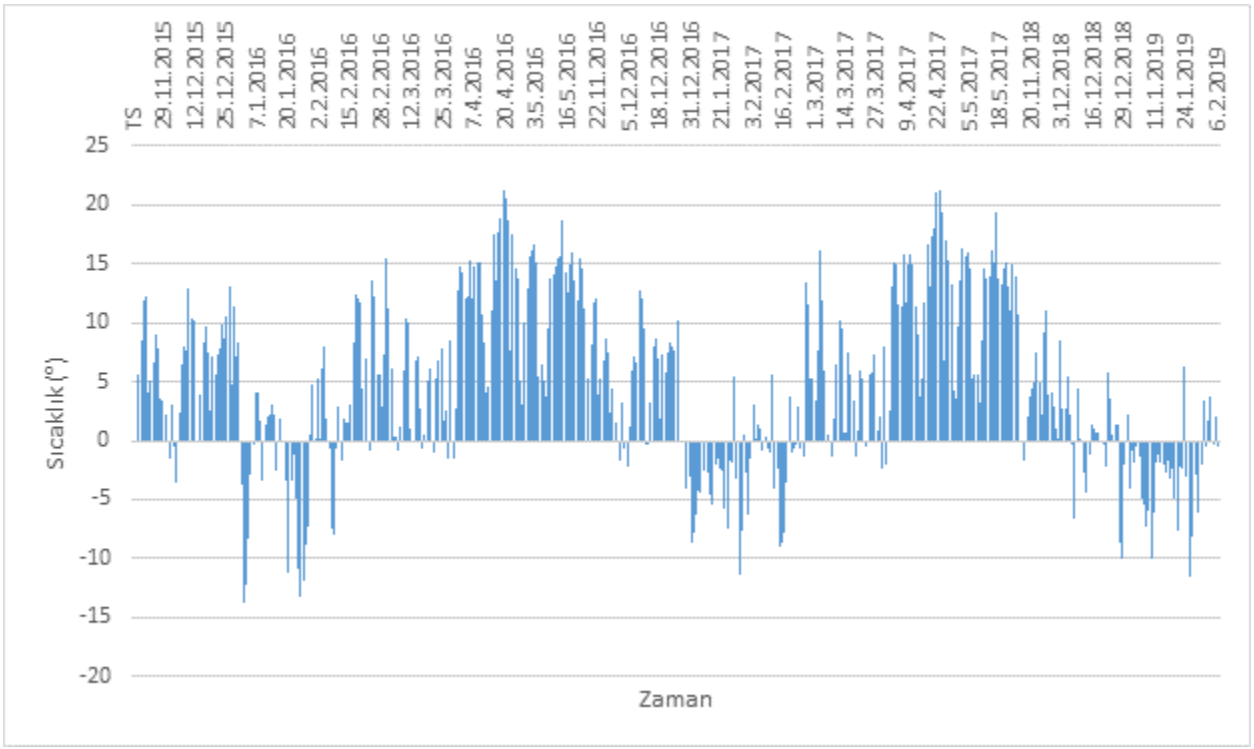
Şekil 205. N2 Konumu minimum sıcaklık



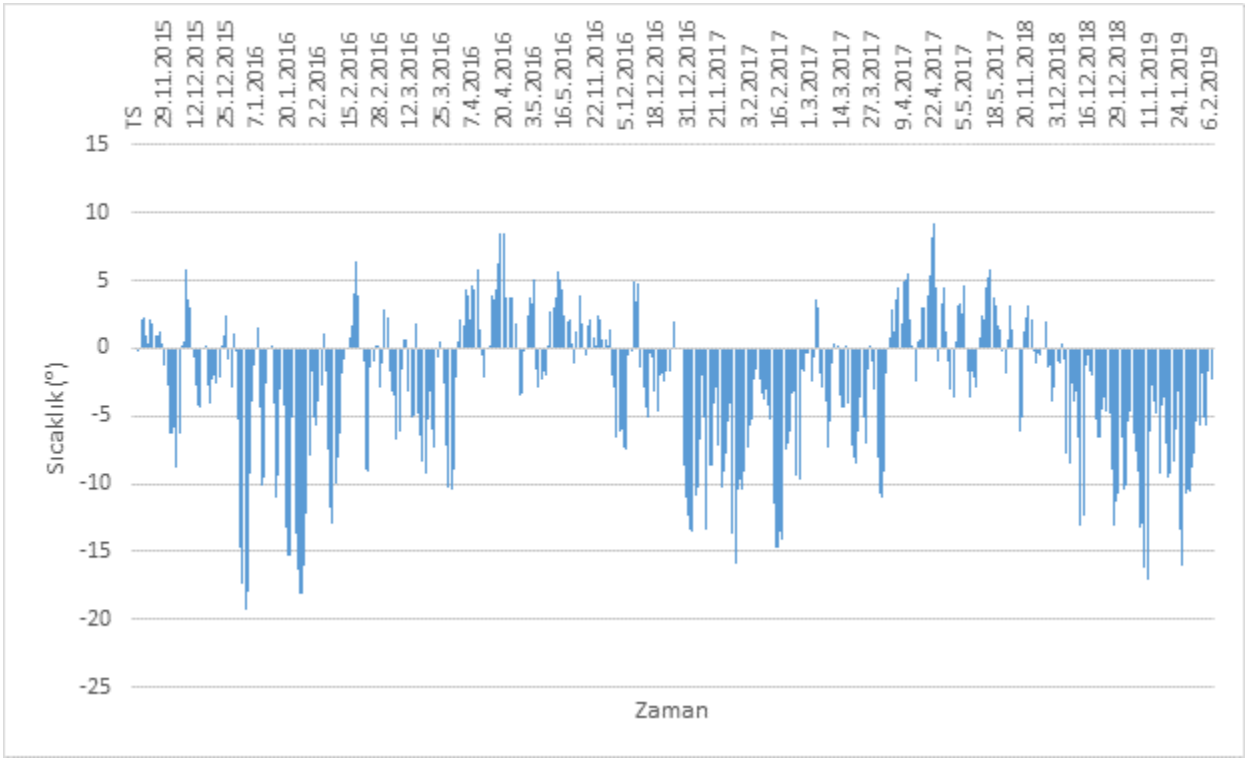
Şekil 206. N3 Konumu maksimum sıcaklık



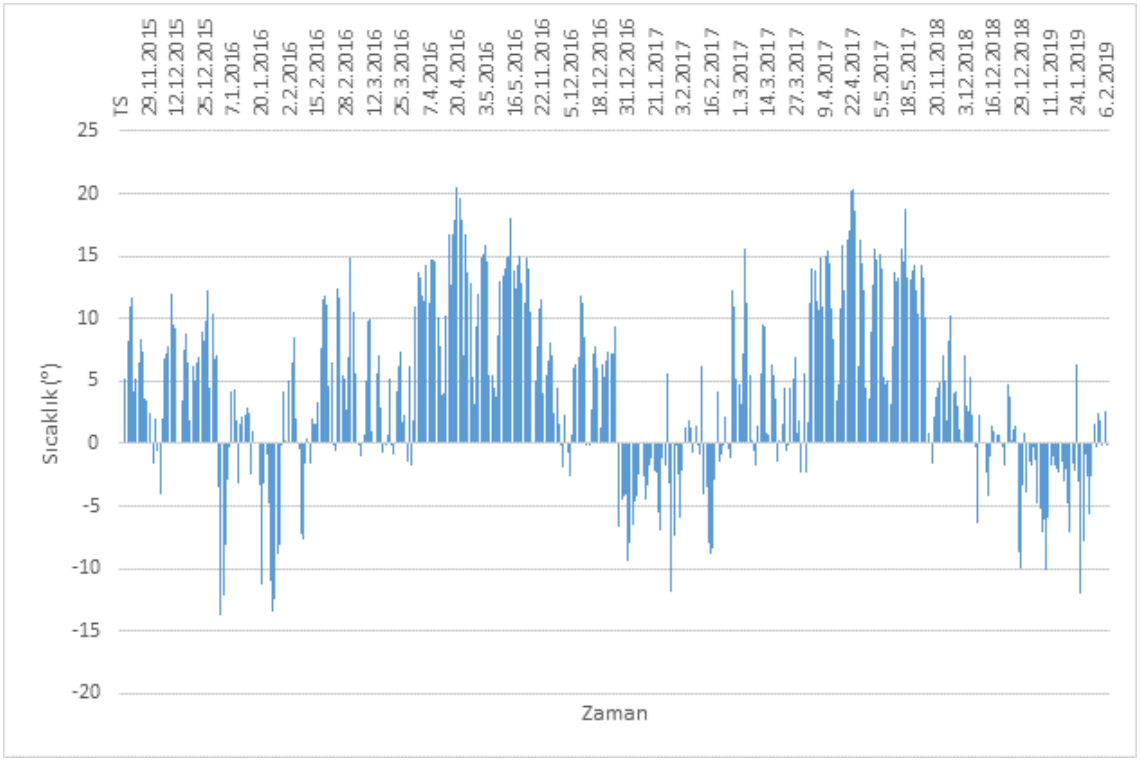
Şekil 207. N3 Konumu minimum sıcaklık



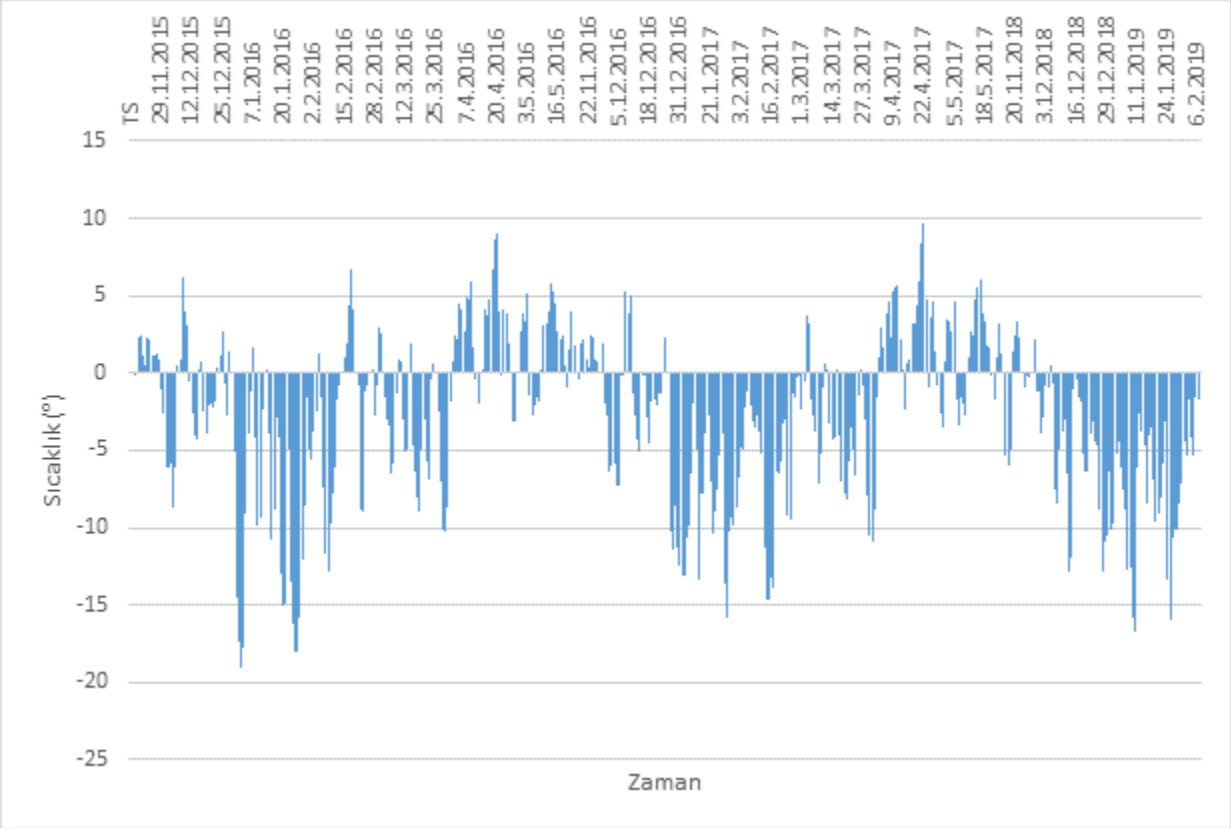
Şekil 208. N4 Konumu maksimum sıcaklık



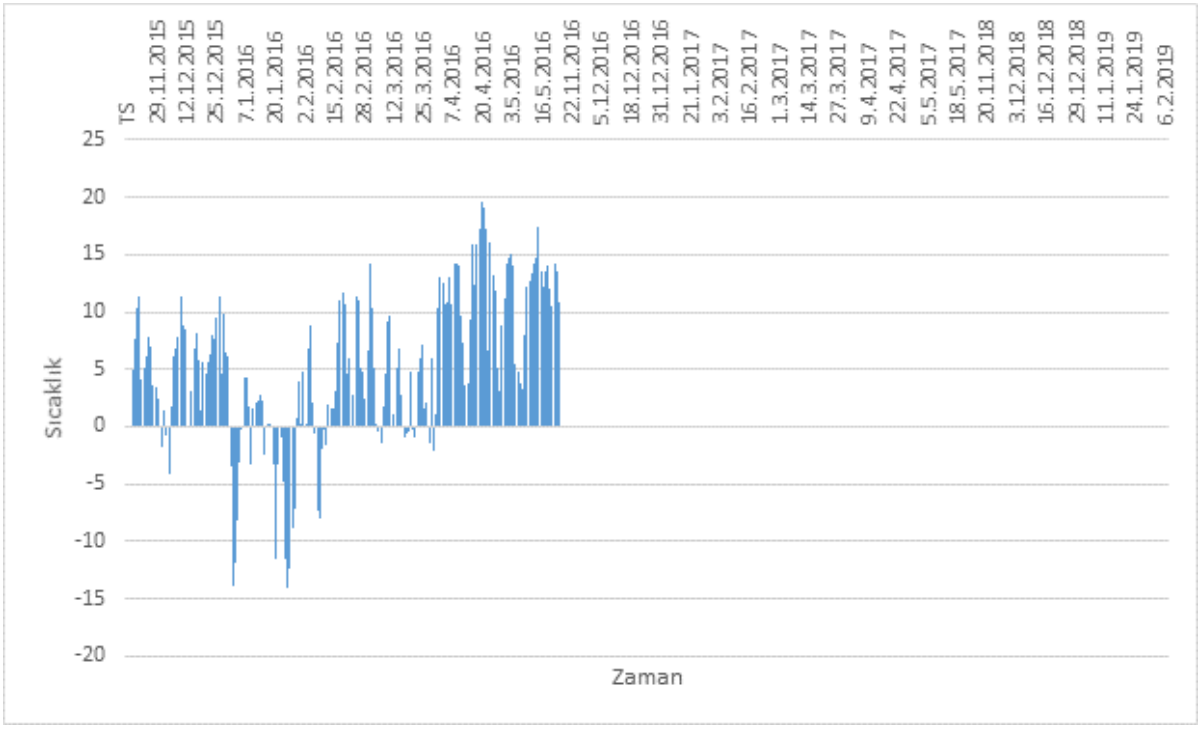
Şekil 209. N4 Konumu minimum sıcaklık



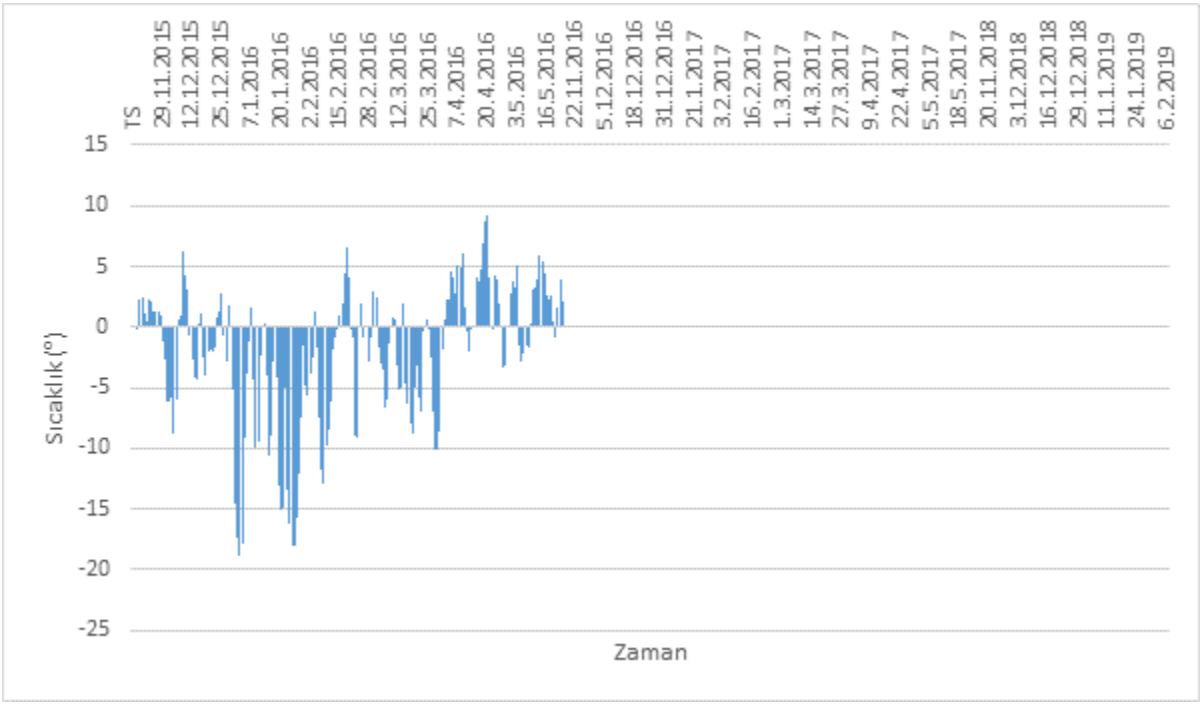
Şekil 210. N5 Konumu maksimum sıcaklık



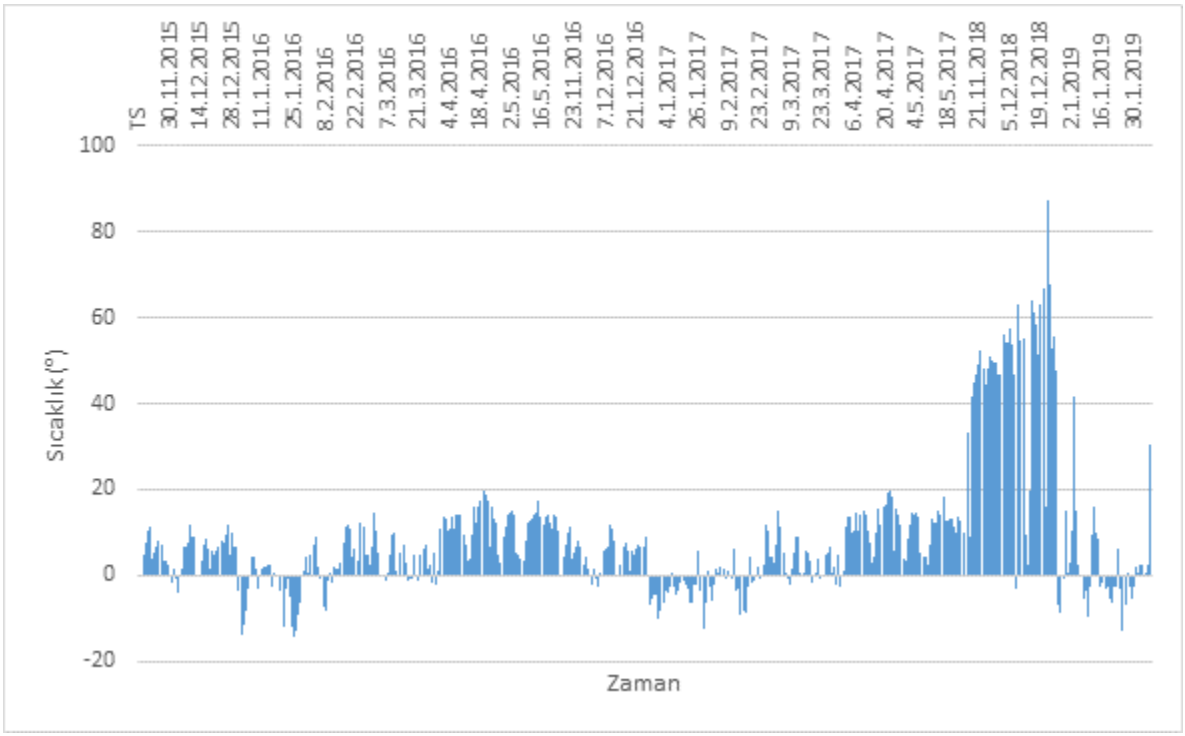
Şekil 211. N5 Konumu minimum sıcaklık



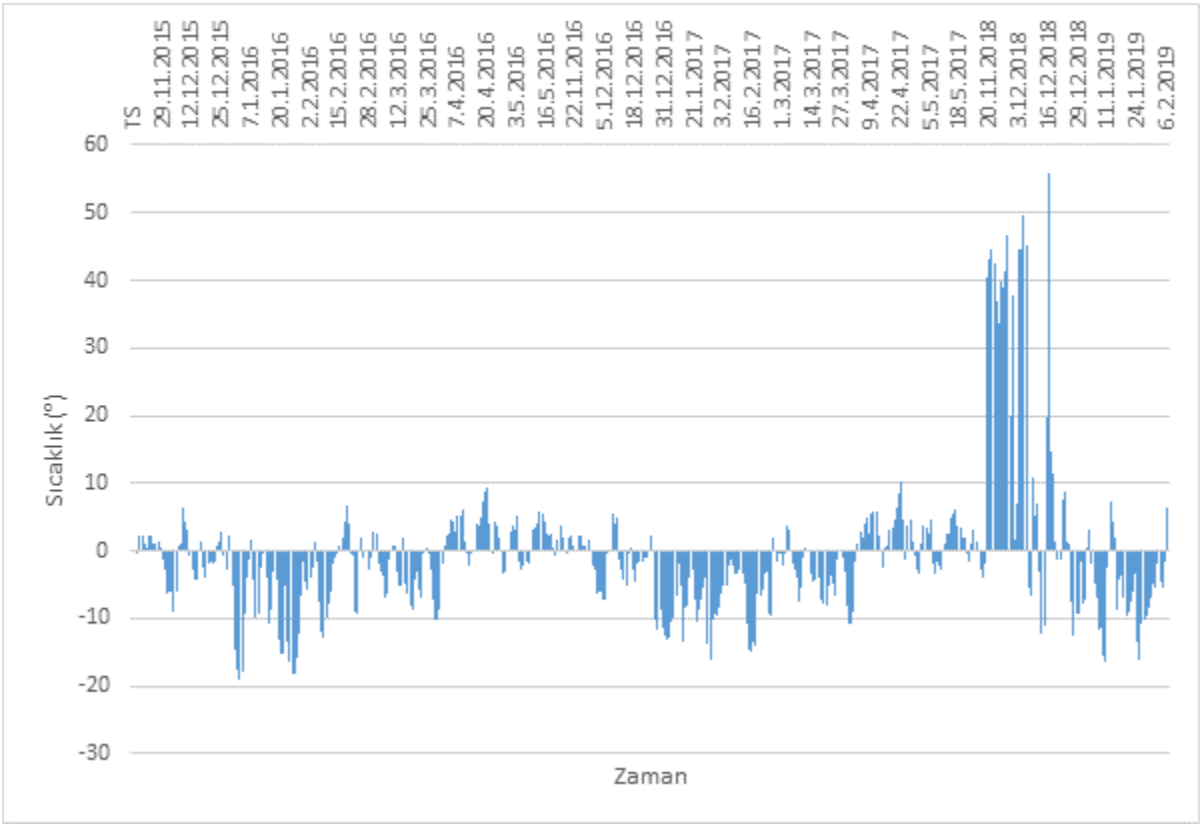
Şekil 212. N6 Konumu maksimum sıcaklık



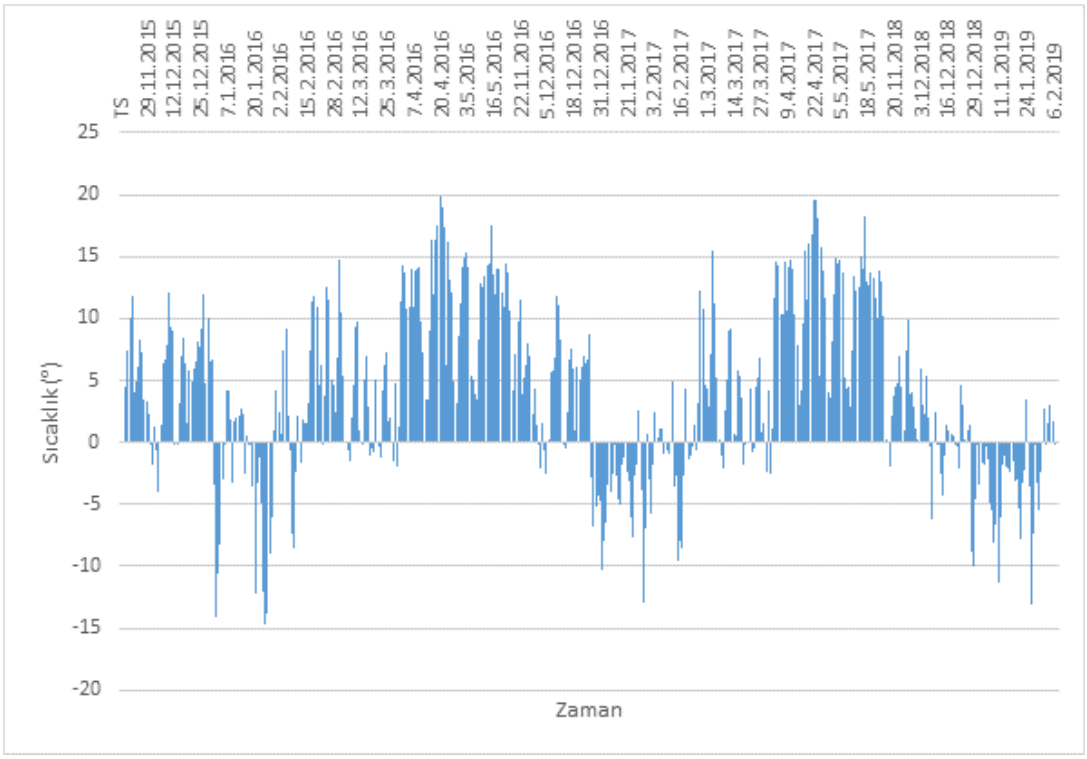
Şekil 213. N6 Konumu minimum sıcaklık



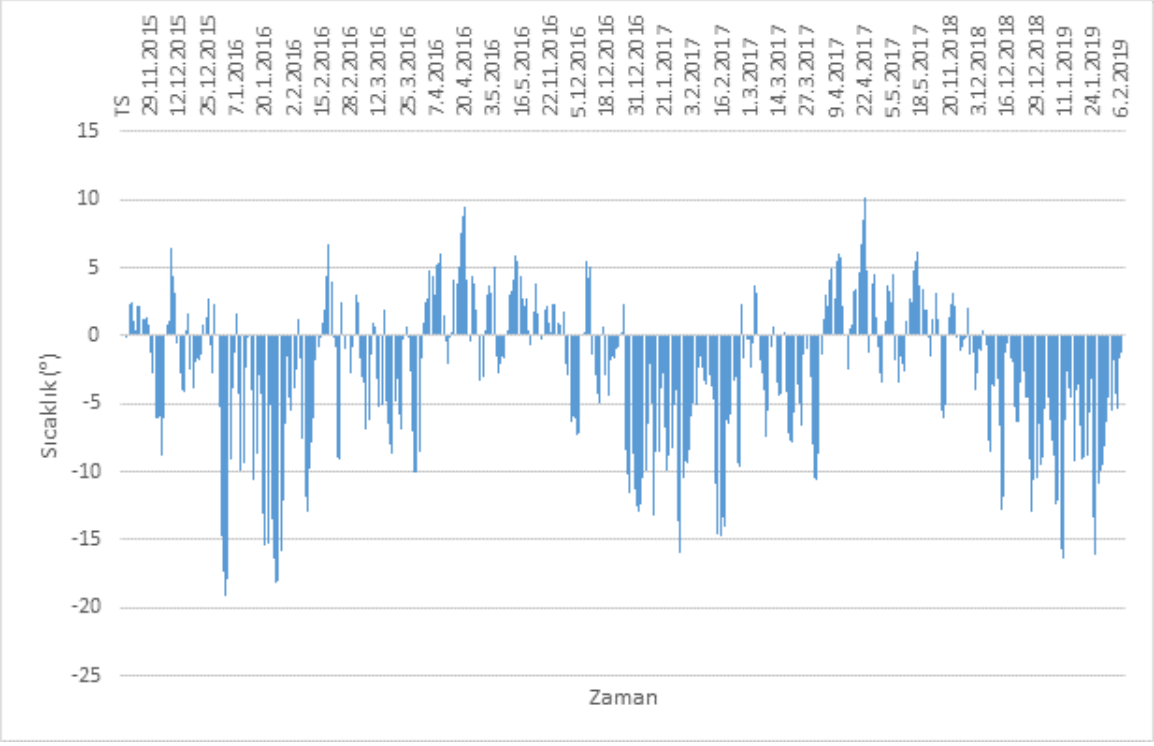
Şekil 214. N7 Konumu maksimum sıcaklık



Şekil 215. N7 Konumu minimum sıcaklık



Şekil 216. N8 Konumu maksimum sıcaklık



Şekil 217. N8 Konumu minimum sıcaklık

Nispi Nem:

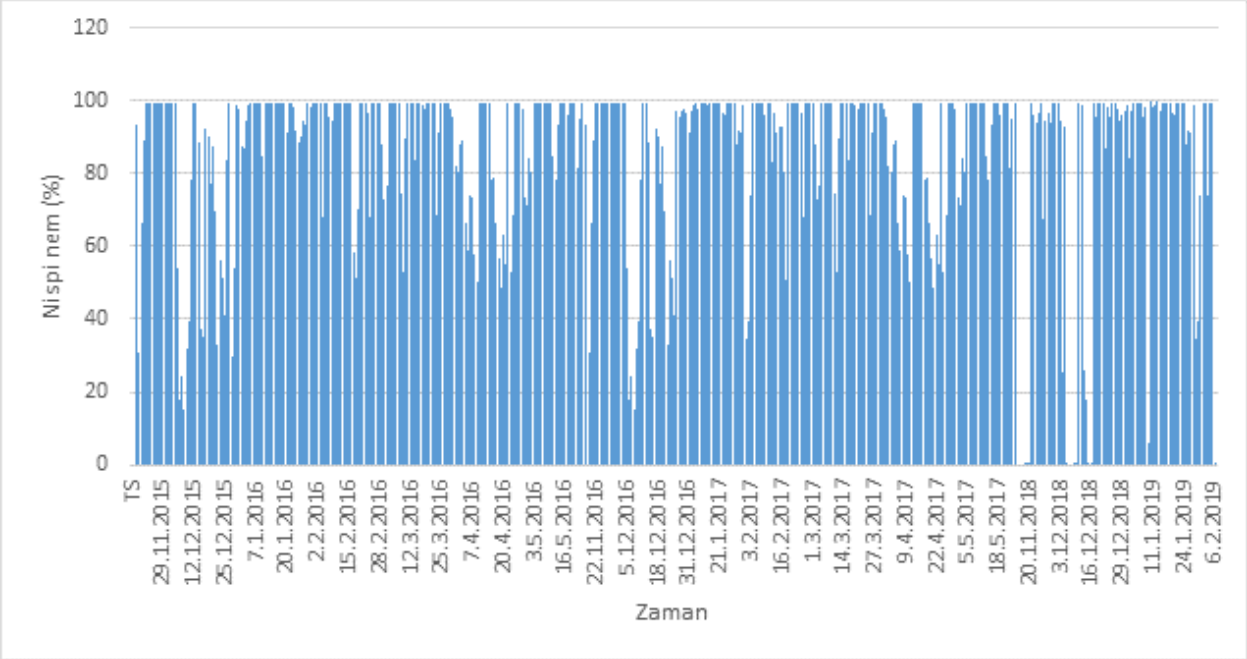
Nispi nem için ölçüm aralığı %0 - %100 ve doğruluk : ± %0.8 olan sensör kullanılmıştır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemlerine ait nispi nem ölçümlerinin maksimum değerleri Şekil 218'da, minimum değerler iise Şekil 219'de sunulmuştur.. Nispi nem rasatlarının aylık periyodlar halinde istatistikleri ise Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Nispi nem istatistikleri

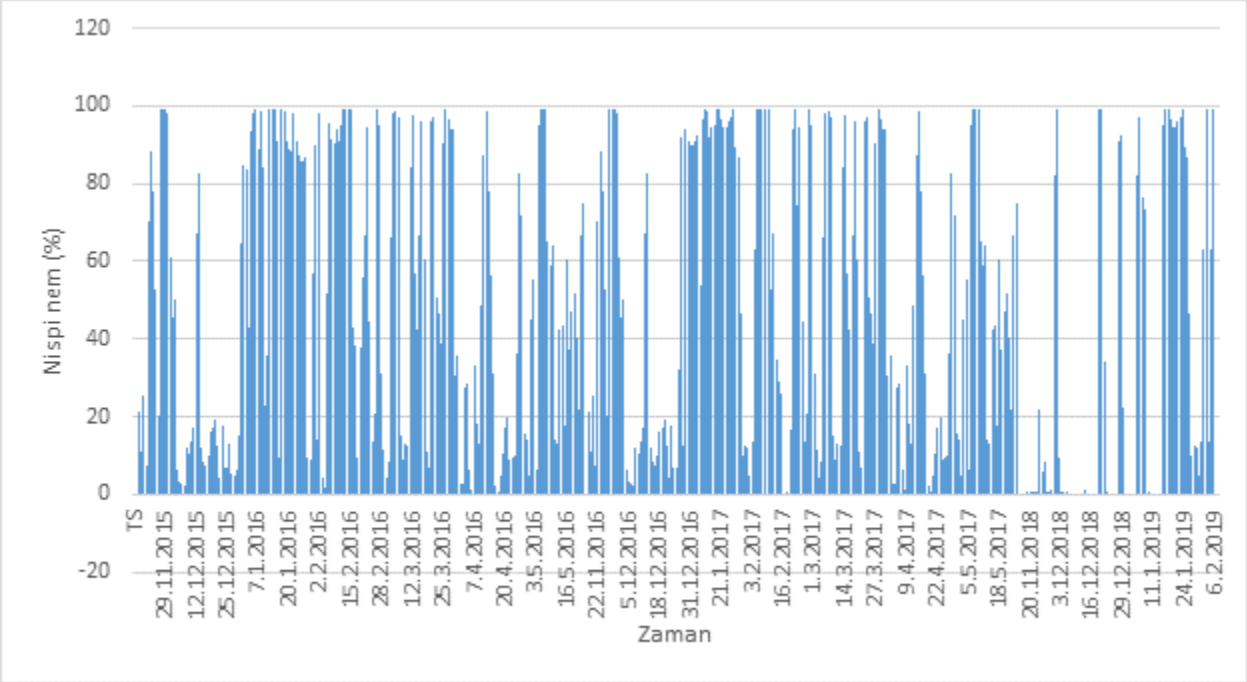
Dönem	Minimum Ortalama (%)	Standart Sapma	Maksimum Ortalama (%)	Standart Sapma
Kasım 2015	90.22	20.11	59.20	37.41
Aralık 2015	67.05	29.77	20.09	22.01
Ocak 2016	96.32	4.51	77.30	29.51

Dönem	Minimum Ortalama (%)	Standart Sapma	Maksimum Ortalama (%)	Standart Sapma
Şubat 2016	92.27	14.05	61.54	36.67
Mart 2016	92.52	11.80	58.54	36.08
Nisan 2016	78.10	17.97	28.09	28.98
Mayıs 2016	94.87	7.30	52.99	28.09
Kasım 2016	90.22	20.11	59.20	37.41
Aralık 2016	70.67	29.64	29.87	32.69
Ocak 2017	97.62	3.00	80.62	26.44
Şubat 2017	88.77	18.71	51.77	39.93
Mart 2017	92.83	11.73	57.79	36.82
Nisan 2017	79.20	18.17	29.66	28.53
Mayıs 2017	93.06	9.38	49.51	29.49
Kasım 2018	62.61	46.24	8.12	21.36
Aralık 2018	71.91	40.68	42.21	45.55
Ocak 2019	89.57	22.17	52.69	43.98
Şubat 2019	78.52	39.66	56.27	41.74

Tablo 6'ya göre tüm ölçüm dönemleri boyunca ortalama maksimum nispi nem %85, ortalama minimum nispi nem %48'dir. Standart sapma ise maksimum değerler için 23.93, minimum ölçüm değerleri için 37.71 olarak saptanmıştır.



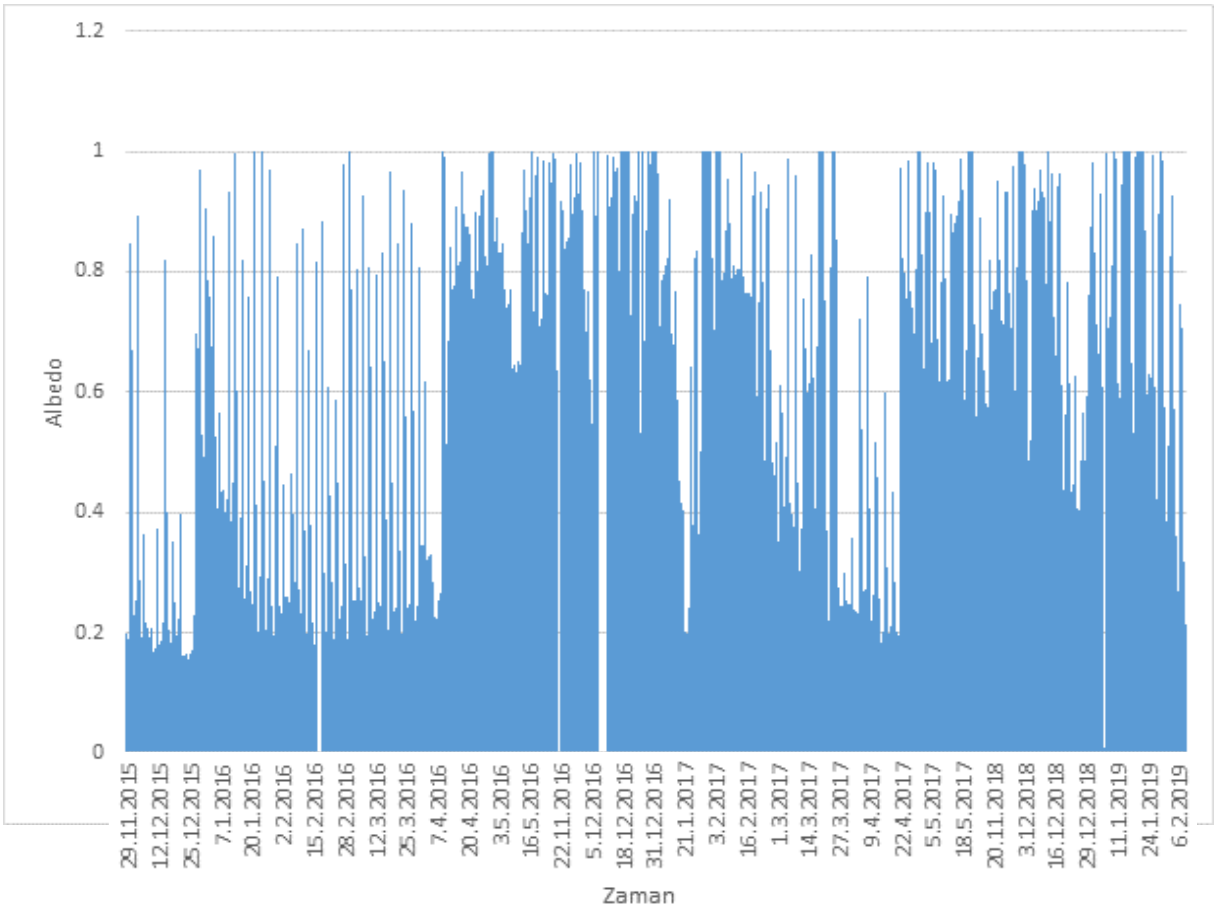
Şekil 218. Maksimum nispi nem



Şekil 219. Minimum nispi nem

Albedo:

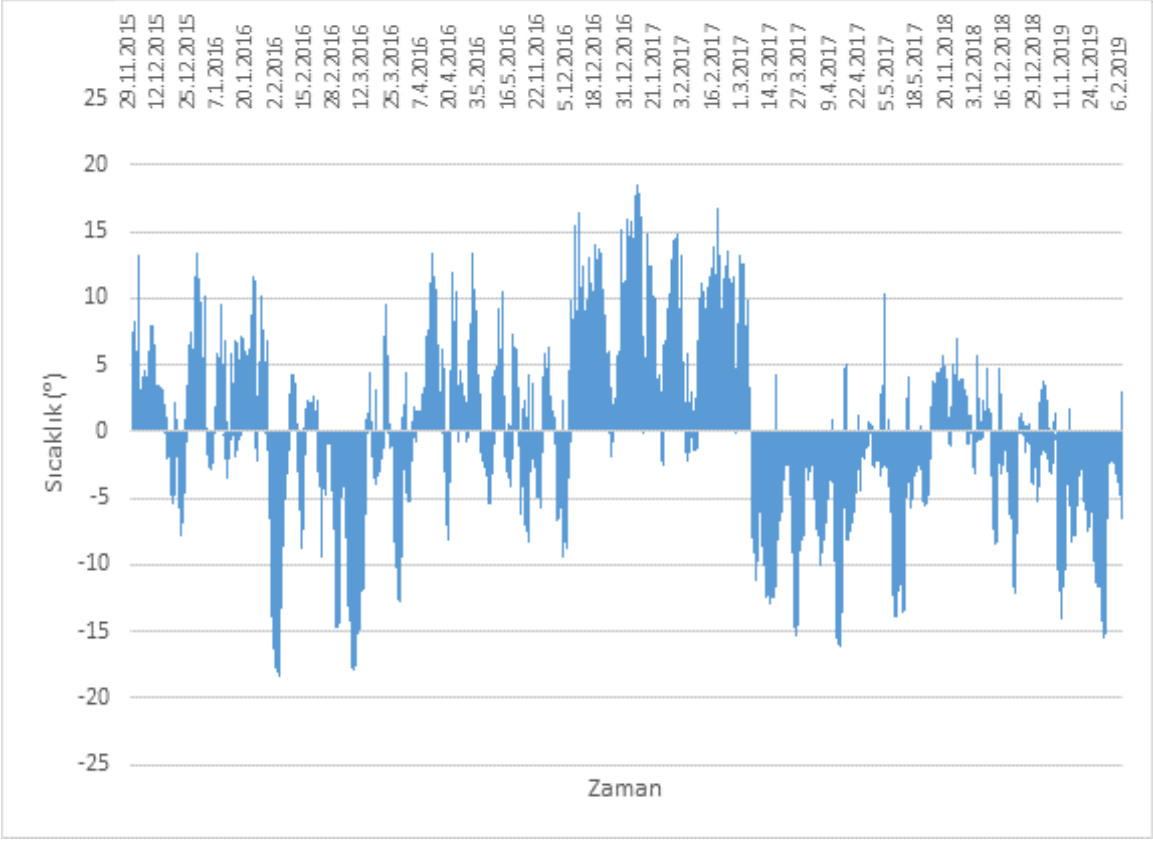
Albedo yüzeylerin yansıtma gücü; veya bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesidir. Genel olarak güneş ışığını yansıtma kapasitesi için kullanılır. Albedo, cismin yüzey dokusuna, rengine ve alanına bağlı olarak değişir. Albedo yeni yağan kar için 0.7-1, eski kar için 0.4- 0.7 ve buz için 0.3-0.4 aralığında değişir. Albedo değerleri Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemlerine için Şekil 220'de verilmiştir.



Şekil 220. Ortalama albedo değerleri

Yüzey Sıcaklığı:

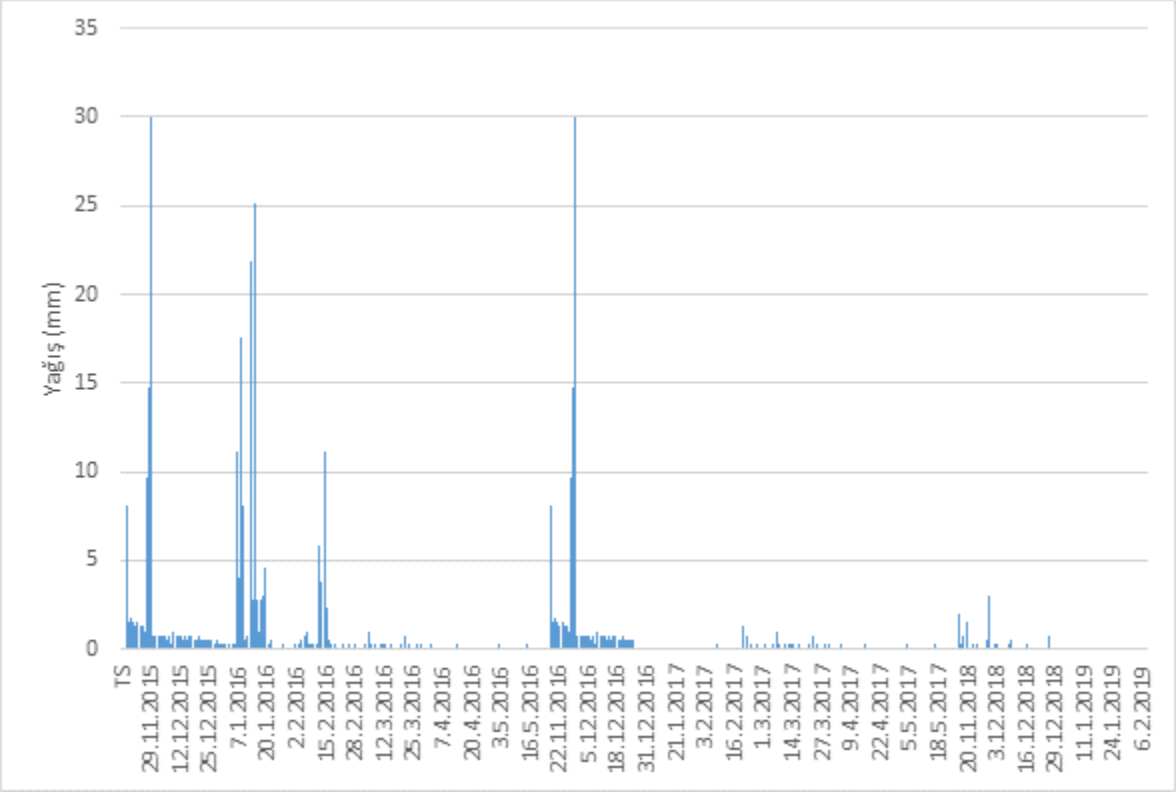
Yüzey sıcaklığı mutlak doğruluğu: ± %0.2°C (-10 ile +65 °C'de), tepki zamanı <1 sn, çalışma sıcaklığı -55°C ile +80 °C arasında olan infrared radyometre sensörle ölçülmüştür. Yüzey sıcaklıkları Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemleri için Şekil 221'da gösterilmiştir. Yüzey sıcaklığının tüm dönem boyunca ortalaması -0.4°C, minimum değeri -18.5°C, maksimum değeri 16.0°C'dir. Standart sapması ise 6.01'dir.



Şekil 221. Ortalama yüzey sıcaklığı

Yağış Sensörü:

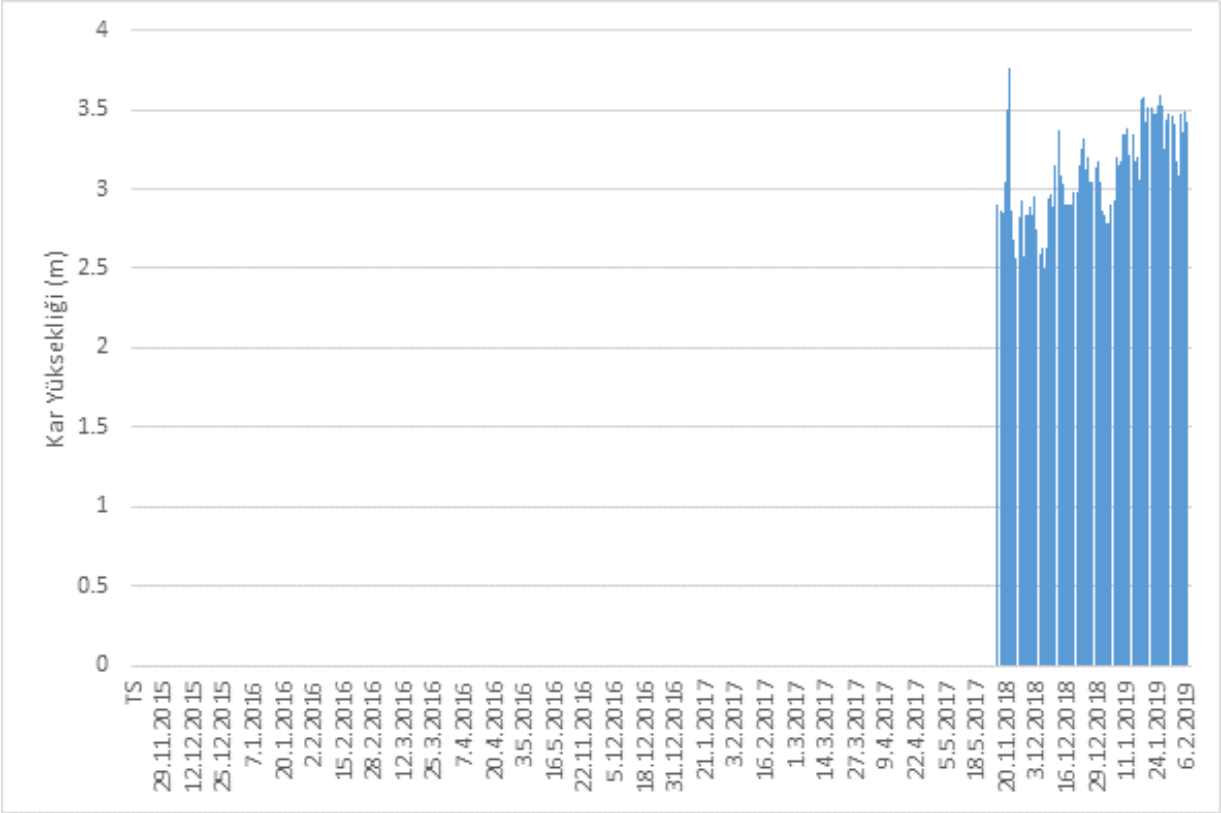
Sıvı yağış ölçer sensörü ısıtıcısız tip, antifrizli, doğruluğu 2.54 cm/saat ve çalışma sıcaklığı 0°C ile +50 °C olarak kullanılmıştır. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemleri için sonuçlar Şekil 222'de verilmiştir. Ölçüm yapılan tüm dönem boyunca sıvı yağışın minimum değeri 0 mm, maksimum değeri 29.97 mm, ortalaması 1.95mm, standart sapması ise 4.66'dır.



Şekil 222. Kasım – Nisan Sıvı Yağışı

Kar Seviyesi:

Kar seviye sensörü ölçüm aralığı 0.5 – 10 m, çözünürlüğü 0.25 mm, çalışma sıcaklığı -45 ile +50 °C olacak şekilde teşkil edilmiştir. Kasım 2015 – Mayıs 2016, Kasım 2016 – Mayıs 2017 ve Kasım 2018 – Şubat 2019 dönemleri için sonuçlar Şekil 223'de verilmiştir. İstasyon kurulmasına müteakip kar yağışı olmamıştır. İlerleyen haftalarda kar yağışı olmasına rağmen kar yükseklikleri doğru olarak ölçülmediği saptanmıştır. Kar yüksekliğinin ölçülmesi ile ilgili problem 2018 ölçüm sonuçlarından önce giderilmiştir. Ölçüm sonuçları Kasım 2018 ile Şıbat 2019 dönemini içermektedir. Bu sonuçlara göre minimum kar yüksekliği 2.50 m, maksimum kar yüksekliği 3.76 m, ortalama kar yüksekliği 3.66 m'dir. Kar yüksekliğinin standart sapması ise ise 0.3'dür.



Şekil 223. Kar yüksekliği

EK-2 PROJE KAPSAMINDA YAZILAN PROGRAM “CIG_1B_V1” KODU

```
PROGRAM CIG_1B_V1
! ------------------------------------------------------------------------------
! BU PROGRAM
! TÜBITAK-1001-
! 114M311 KOD NUMARALI CIG ARASTIRMA PROJESI
! KAPSAMINDA HAZIRLANMISTIR.
! CIG_1B_V1 PROGRAMI, ARAZIDEN ELDE EDILEN 1 BOYUTLU(1B) CIG HATTI UZERINDE OLUSABILECEK
! CIG HIZLARINI VE DURMA NOKTASINI HESAPLAR. ARAZI VE KAR ORTUSU ILE ILGILI VERILER
! "CIG.DAT" ISIMLI DOSYADAN OKUTULMAKTADIR. VERILERINIZI "CIG.DAT" DOSYASINDA HAZIRLAYINIZ
! PROGRAMDAN ELDE EDILEN SONUCLAR "SONUC.DAT" ISIMLI DOSYAYA YAZDIRILMAKTADIR.
! SONUCLARI BU DOSYADAN TAKIP EDINIZ.
!
! GAZI UNIVERSITESI
! MUHENDISLIK FAKULTESI
! INSAAT MUHENDISLIGI BOLUMU
! MALTEPE-ANKARA Tel: +(312)582 3212
! e-posta:konder@gazi.edu.tr
! ------------------------------------------------------------------------------
IMPLICIT NONE
REAL  g,PI
REAL  NU,DELX,DELY,k,m
REAL  alpha,DURMES
REAL  f2,f3,f4
REAL  c1,c2,c3,c4
REAL  A,B,C,P,Q
INTEGER NS,I,J
```

```
! det= tanimlanan determinant fonksiyonu
REAL  det
REAL  a11,a12,a13,a21,a22,a23,a31,a32,a33

! ------------------------------------------------------------------------------
!   NS    : 1B çig hatti icin CBS tabanli bir program uzerinden alinan
!             noktalarin sayisi           (adet)
!  X(I)    : Noktanin cig baslangic noktasindan itibaren yatay mesafe koordinati (m)
!  Y(I)    : Noktanin rakimi (m)
!TETARAD: Çig hatti egim acisi (radyan)
!TETADEG: Çig hatti egim acisi (derece)
!  V(I)    : Çig hizi (m/sn)
! DEL X : Noktanin X koord. farki (m)
! DEL Y : Noktanin Y koord. farki (m)
! m        : Kopan cig kutlesi (kg)
!   g       : Yerçekimi ivme sabiti=9.81 m/s^2
!   PI      : pi sayisi sabiti
!   NU    : Statik sürtünme katsayisi          (-)
!   kr      : Eylemsizlik katsayisi(kg/m)
! r(I)      : I. segmentteki egrilik yaricapi (m)
! L(I)      : I. segmentin (cig hatti uzerindeki) uzunlugu (m)
!DURMES: Cigin durma mesafesi(m)
! ------------------------------------------------------------------------------
REAL :: X(100), Y(100),r(100),kr(100),V(100), d(4)
REAL :: TETADEG(100), TETARAD(100), L(100)

!Sabit parametrelerin tanimlanmasi
g=9.81
```

```
PI=4.*ATAN(1.0)

!Degiskenlere ilk deger atama
X=0.0
Y=0.0
V=-99.
r=0.
DURMES=0.0

! VERILER  "CIG.DAT" ISIMLI DOSYADAN OKUTULMAKTADIR.
OPEN (UNIT=100, FILE="CIG.DAT")

! SONUCLAR  “SONUC.DAT” ISIMLI DOSYAYA YAZDIRILACAKTIR.
OPEN (UNIT=20, FILE="SONUC.DAT")

READ(100,*)
READ(100,1002) NU,m,k,NS
kr=k
! VERI SAYISI KADAR KOORDINATLARI VERI DOSYASINDAN OKU
DO I=1,NS
READ(100,1003) X(I),Y(I)
END DO
!-------------------------------------------------
WRITE(20,*)
WRITE(20,*) "-------------------------------------------------------"
WRITE(20,*) "  CIG_1B_V1 PROGRAMI ICIN VERI DOSYASI OZETI "
WRITE(20,*) "-------------------------------------------------------"
WRITE(20,*)
```

```
WRITE(20, 1000)  "NU=",NU," "
WRITE(20, 1001)  "NS=",NS,"ADET"
WRITE(20, 1004)  "g=",g,"m/sn^2"
WRITE(20, 1006)  "k=",k,"kg/m"
WRITE(20, 1006)  "m=",m,"kg"
WRITE(20,*)
WRITE(20,*) "-----------------------------------------------------"
WRITE(20,*) "  PROGRAM TARAFINDAN OKUNAN KOORDINATLAR "
WRITE(20,*) "-----------------------------------------------------"
WRITE(20,*)
WRITE(20,*) "  NS  X(I)(m)   Y(I)(m)"
WRITE(20,*) "----- -------  --------"

DO I=1,NS
WRITE(20,1005) I, X(I),Y(I)
END DO
!-------------------------------------------------
! EGRILIK= ÜÇ NOKTADAN GEÇEN ÇEMBERIN YARIÇAPINI HESAPLA
! x^2+y^2+Ax+By+C=0 çember denkleminden A,B,C degerlerini
! bul. (x-a)^2+(y-b)^2=r^2           denklemindeki r degerini
!  a=-A/2  b=-B/2 ve r= karekök(a^2+b^2-C) ile
! egrilik degerini belirle.
! Programda a11,...a33 matris elemanlarinin katsayilaridir.
!-------------------------------------------------------

        DO I=1,NS-3
125     DO J=0,3
```

```
IF(J==1) THEN
a11=-(X(I)*X(I)+Y(I)*Y(I))
ELSE
a11= X(I)
END IF

IF(J==2)THEN
a12=-(X(I)*X(I)+Y(I)*Y(I))
ELSE
a12= Y(I)
END IF

IF(J==3)THEN
a13=-(X(I)*X(I)+Y(I)*Y(I))
ELSE
a13= 1.0
END IF

IF(J==1)THEN
a21=-(X(I+1)*X(I+1)+Y(I+1)*Y(I+1))
ELSE
a21= X(I+1)
END IF

IF(J==2)THEN
a22=-(X(I+1)*X(I+1)+Y(I+1)*Y(I+1))
ELSE
a22= Y(I+1)
```

```
END IF

IF(J==3)THEN
a23=-(X(I+1)*X(I+1)+Y(I+1)*Y(I+1))
ELSE
a23= 1.0
END IF

IF(J==1)THEN
a31=-(X(I+2)*X(I+2)+Y(I+2)*Y(I+2))
ELSE
a31= X(I+2)
END IF

IF(J==2)THEN
a32=-(X(I+2)*X(I+2)+Y(I+2)*Y(I+2))
ELSE
a32= Y(I+2)
END IF

IF(J==3)THEN
a33=-(X(I+2)*X(I+2)+Y(I+2)*Y(I+2))
ELSE
a33= 1.0
END IF

   d(j)=det(a11,a12,a13,a21,a22,a23,a31,a32,a33)
```

```
 IF(d(J)==0) THEN
   X(I+1)=X(I)+0.5
   GOTO 125
 END IF

    END DO
       A=d(1)/d(0)
       B=d(2)/d(0)
       C=d(3)/d(0)

       P=-A/2.
       Q=-B/2.

       r(I)=SQRT(P*P+Q*Q-C)
   END DO

! Son üç noktanin egrilik yaricaplari
r(NS-2)=4*r(NS-3)
r(NS-1)=6*r(NS-2)
r(NS)=10*r(NS-1)

WRITE(20,*)
WRITE(20,*) "-------------------------------------------------------"
WRITE(20,*) " CIG_1B_V1 PROGRAMI SONUCLARI                          "
WRITE(20,*) "-------------------------------------------------------"
WRITE(20,*)
WRITE(20,*) "  I       r(I)-Egrilik Yariçapi (m) "
```

```
WRITE(20,*) "----      -------"




DO I=1,NS

WRITE(20,1008) I,r(I)

END DO

!-----------------------------------------------------------------

! SEGMENTLERIN UZUNLUKLARI VE EGIM ACILARININ HESAPLANMASI.

! NS=1-2 ARASI BIRINCI SEGMENT OLARAK TANIMLANMISTIR.

!-----------------------------------------------------------------

WRITE(20,*)

WRITE(20,*) "SEGM. NO  SEG. UZU.(L)  EGIM ACI.(TETADEG)  "


WRITE(20,*) "--------  ------------  -----------------   "


DO I=1,NS-1


DELX=X(I+1)- X(I)

DELY=Y(I+1)- Y(I)


L(I)= SQRT(DELX**2.+DELY**2.)


TETARAD(I)= ATAN(DELY/DELX)


IF(TETARAD(I)<0.0)   TETARAD(I)=-TETARAD(I)


! ACIYI RADYAN DAN DERECE YE CEVIRME
```

```
TETADEG(I)= TETARAD(I)*180/PI

WRITE(20,1010) I,L(I),TETADEG(I)
END DO

WRITE(20, *)
WRITE(20,*) "SEGM.NO  V(m/sn)  "
WRITE(20,*) "------  -------"
!---------------------------------------------------------------
! ILK HIZIN TANIMLANMASI
!---------------------------------------------------------------

V(1)=1.0
!---------------------------------------------------------------
!4. dereceden RUNGA-KUTTA COZUM YONTEMI ILE CIG HATTI BOYUNCA HIZ HESAPLAMA
!---------------------------------------------------------------

DO I=1,NS-1

IF(Y(I)>=1600) THEN
NU=0.28
ELSE
NU=0.30
kr(I)=95
END IF

alpha= g*(SIN(TETARAD(I))- NU*COS(TETARAD(I)))
```

```
c1=alpha/V(I)- NU*V(I)/r(I)- V(I)*kr(I)/m

f2=V(I)+0.5*c1*L(I)
c2=alpha/f2- NU*f2/r(I)- f2*kr(I)/m

f3=V(I)+0.5*c2*L(I)
c3=alpha/f3- NU*f3/r(I)- f3*kr(I)/m

f4=V(I)+ c3*L(I)
c4=alpha/f4- NU*f4/r(I)- f4*kr(I)/m

V(I+1)= V(I) + (c1+2*c2+2*c3+c4)*L(I)/6
DURMES=DURMES+L(I)

!---------------------------------------------------------------
! DURMA MESAFESI HESABI
!---------------------------------------------------------------

IF(V(I)<0.5) THEN
WRITE(20, *) "CIG",I,".SEGMENTTE DURMUSTUR."

WRITE(20, *) "CIG BASLANGIC NOKTASINDAN ITIBAREN DURMA MESAFESI (M)=",DURMES
GOTO 50
ELSE
WRITE(20,1111) I,V(I)
END IF

IF(I==NS-1.AND.V(I)>=0.5) WRITE(20, *) "CIG",I,".SEGMENTTE DURMAMISTIR."
```

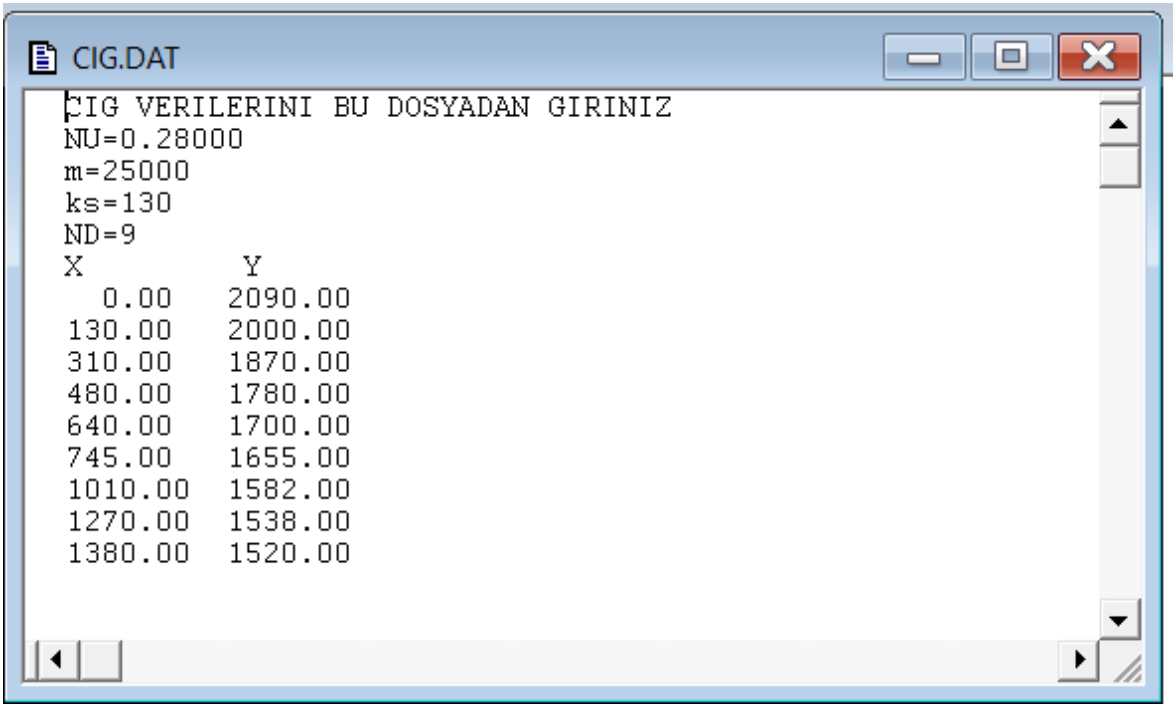
```
END DO

!
! FORMATLAR LISTESI
!
1000 FORMAT(A,1X,F4.3,1X,A)
1001 FORMAT(A,1X,I5,1X,A)
1002 FORMAT(3x,F7.6,/,2x,F7.0,/,3x,F7.0,/,3x,I6,/)
1003 FORMAT(F6.0,3x,F6.0)
1004 FORMAT(A,1X,F4.2,1X,A)
1005 FORMAT(I4,3X,F6.1,3X,F6.1)
1006 FORMAT(A,1X,F9.2,1X,A)
1008 FORMAT(I4,2X,F12.2)
1010 FORMAT(I3,10X,F7.2,10X,F7.2)
1111 FORMAT (I5,3X,F7.2)

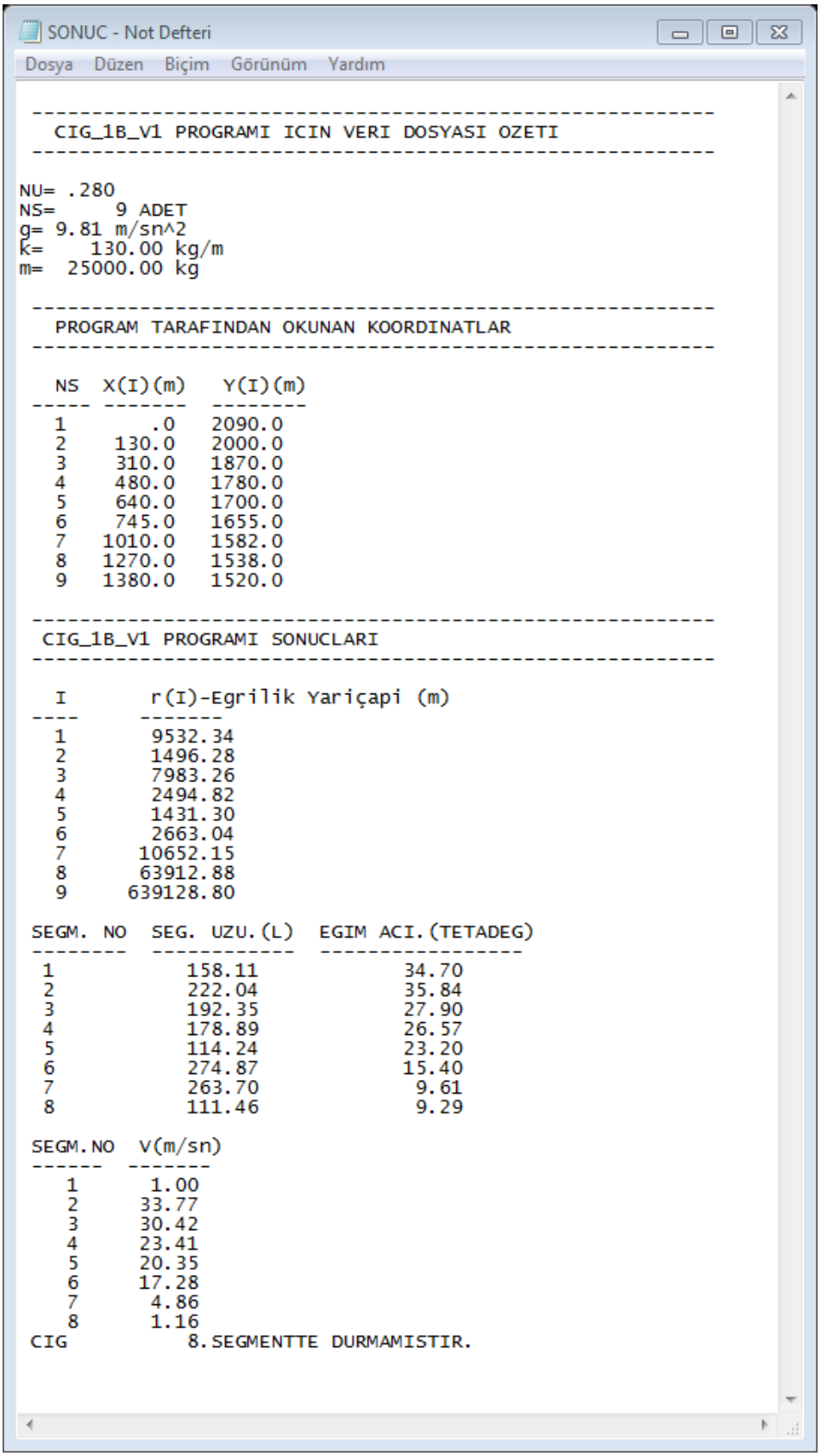
50 STOP
END

! determinant için kullanilan fonksiyon
REAL function det(aa1,bb1,cc1,dd1,ee1,ff1,gg1,hh1,ii1)
REAL  aa1,bb1,cc1,dd1,ee1,ff1,gg1,hh1,ii1
det=(aa1*ee1*ii1+dd1*hh1*cc1+gg1*bb1*ff1)-(cc1*ee1*gg1+ff1*hh1*aa1+ii1*bb1*dd1)
return
end
```

PROGRAM VERİ DOSYASI



PROGRAM SONUÇ DOSYASI



SONUC - Not Defteri

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım

```
 ------------------------------------------------------------
   CIG_1B_V1 PROGRAMI ICIN VERI DOSYASI OZETI
 ------------------------------------------------------------

NU= .280
NS=      9 ADET
g= 9.81 m/sn^2
k=    130.00 kg/m
m=  25000.00 kg

 ------------------------------------------------------------
   PROGRAM TARAFINDAN OKUNAN KOORDINATLAR
 ------------------------------------------------------------

   NS  X(I)(m)    Y(I)(m)
 ----- -------   --------
   1        .0   2090.0
   2    130.0    2000.0
   3    310.0    1870.0
   4    480.0    1780.0
   5    640.0    1700.0
   6    745.0    1655.0
   7   1010.0    1582.0
   8   1270.0    1538.0
   9   1380.0    1520.0

 ------------------------------------------------------------
  CIG_1B_V1 PROGRAMI SONUCLARI
 ------------------------------------------------------------

   I       r(I)-Egrilik Yariçapi (m)
 ----      -------
   1        9532.34
   2        1496.28
   3        7983.26
   4        2494.82
   5        1431.30
   6        2663.04
   7       10652.15
   8       63912.88
   9      639128.80

 SEGM. NO   SEG. UZU.(L)   EGIM ACI.(TETADEG)
 --------   ------------   ------------------
  1            158.11             34.70
  2            222.04             35.84
  3            192.35             27.90
  4            178.89             26.57
  5            114.24             23.20
  6            274.87             15.40
  7            263.70              9.61
  8            111.46              9.29

 SEGM.NO   V(m/sn)
 ------    -------
    1       1.00
    2      33.77
    3      30.42
    4      23.41
    5      20.35
    6      17.28
    7       4.86
    8       1.16
 CIG           8.SEGMENTTE DURMAMISTIR.
```

PROJE ÇALIŞTAY SUNUMLARI



TÜBİTAK PROJE NO: 114M311

PROJE ADI

Çığ Verilerinin Toplanması, Çığın Dinamik ve İstatistiksel Modellemesi ve Durma Mesafesi Uygulaması; Bozdağ Örneği

24 EKİM 2017 / ANKARA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

ÇALIŞTAY SUNUMLARI

Sunumlar	Konuşmacı	Konu
Sunum 1	Yrd. Doç. Dr. Önder Koçyiğit	Türkiye'de Çığ Problemi ve Genel Değerlendirme
Sunum 2	Öğr. Gör. Dr. Erhan Tekin	İstatistiksel Olarak Durma Mesafesi Tahmin Çalışması
Sunum 3	İnş. Yük. Müh. Gökhan Arslan Başbakanlık, AFAD	Çığ Gözlemi ve Çığa Özgü Verilerin Değerlendirilmesi
Sunum 4	İnş. Yük. Müh. Erhan Demir DSİ	Çığın Dinamik Modellenmesi

ÇALIŞTAY YERİ

Çalıştay, Gazi Üniversitesi'nin Ankara Maltepe yerleşkesi Mühendislik Fakültesi içerisinde bulunan "15 Temmuz Şehit Mustafa AVCU Akademi Salonu'nda gerçekleştirilmiştir.

ÇALIŞTAY AMACI

Kar çığları dağlık bölgelerdeki yaşamı tehdit etmekte ve ulaşım şartlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bir doğal afet olarak çığ, dünyanın birçok ülkesinde görülmektedir. Türkiye yüzölçümünün büyük bir bölümünün yüksek dağlık arazide yer aldığı düşünüldüğünde, ülkemizin ne kadar kar ve çığ ile mücadele etmek zorunda olduğu açıktır. Çığ bir afet olarak birçok insanın hayatına ve maddi zararlara neden olmaktadır. Örneğin sadece 1992-1993 kış mevsimlerinde ülkemizde meydana gelen çığlar, 300'den fazla insanın hayatına ve çok büyük maddi zararlara neden olmuştur. Çığ ile mücadelede araştırma boyutunun önemi kamu kurum çalışanları, araştırmacılar ve özel kuruluşlarca değerlendirilmelidir. Bu kapsamda TÜBİTAK katkılarıyla gerçekleştirilmiş olan çığ araştırma projesi çalışmaları ilgili paydaşlara çalıştay sayesinde aktarılacaktır.

Çalıştay Amacı

Kar çığları dağlık bölgelerdeki yaşamı tehdit etmekte ve ulaşım şartlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bir doğal afet olarak çığ, dünyanın birçok ülkesinde görülmektedir. Türkiye yüzölçümünün büyük bir bölümünün yüksek dağlık arazide yer aldığı düşünüldüğünde, ülkemizin ne kadar kar ve çığ ile mücadele etmek zorunda olduğu açıktır. Çığ bir afet olarak birçok insanın hayatına ve maddi zararlara neden olmaktadır. Örneğin sadece 1992-1993 kış mevsimlerinde ülkemizde meydana gelen çığlar, 300'den fazla insanın hayatına ve çok büyük maddi zararlara neden olmuştur. Çığ ile mücadelede araştırma boyutunun önemi kamu kurum çalışanları, araştırmacılar ve özel kuruluşlarca değerlendirilmelidir. Bu kapsamda TÜBİTAK katkılarıyla gerçekleştirilmiş olan çığ araştırma projesi çalışmaları ilgili paydaşlara çalıştay sayesinde aktarılacaktır.

Çalıştay Yeri

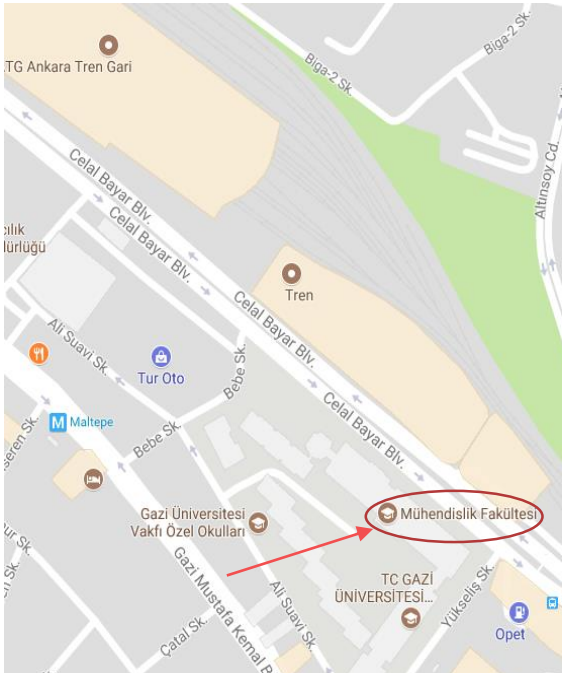
Çalıştay, Gazi Üniversitesi'nin Ankara Maltepe yerleşkesi Mühendislik Fakültesi içerisinde bulunan "15 Temmuz Şehit Mustafa AVCU Akademi Salonu"nda gerçekleştirilecektir.

ULAŞIM

Adres: Eti Mahallesi Yükseliş Sokak No: 5
Maltepe / ANKARA
Tel : (312) 582 32 30 (İnşaat Müh. Sekreterlik)

Otopark: Fakültenin araç otopark kapasitesi sınırlı olması nedeniyle Fakülte çevresinde bulunan özel otoparklar kullanılabilir.

Harita:



PROJE ÇALIŞTAYI

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ARAŞTIRMALARI

TÜBİTAK PROJE NO: 114M311

PROJE

Çığ Verilerinin Toplanması, Çığın Dinamik ve İstatistiksel Modellemesi ve Durma Mesafesi Uygulaması; Bozdağ Örneği

24 EKİM 2017 SALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ



ÇALIŞTAY PROGRAMI

24 EKİM 2017 SALI

13:30- 14:00	Kayıt
14:00- 14:15	Proje Tanıtımı

Saat	Konuşmacı	Konu
14:15 14:45	Yrd. Doç. Dr. Önder Koçyiğit Gazi Ü.	Türkiye'de Çığ Problemi ve Genel Değerlendirme
15 dk. Ara		
15:00 15:30	Öğr. Gör. Dr. Erhan Tekin Gazi Ü.	İstatistiksel Olarak Durma Mesafesi Tahmin Çalışması
15 dk. Ara		
15:45 16:05	İnş. Yük. Müh. Gökhan Arslan Başbakanlık, AFAD	Çığ Gözlemi ve Çığa Özgü Verilerin Değerlendirilmesi
16:05 16:20	İnş. Yük. Müh. Erhan Demir DSİ	Çığın Dinamik Modellenmesi
15 dk. Ara		
16:35 17:30	TARTIŞMA-KAPANIŞ	

Proje Özeti

Türkiye'de çığ analizine yönelik veriler mevcut değildir. Avrupa'da çığ ile ilgili oldukça deneyime sahip ülkeler halen çığ verilerini yeni istasyonlar ve yeni teknolojilerle arttırmaktadırlar. Çünkü çığ oluşumu zamana ve mekâna bağlı olarak değişmektedir. Çığa özgü verilerin toplanması ve değerlendirilmesi çığın modellenmesi açısından da önemlidir. Örneğin çığ başlangıç bölgesinde kırılma derinliği bu veriler yardımıyla belirlenebilir. Sayısal çığ modellerinin doğruluğu veriler ile doğrudan ilişkilidir. Bu modellerden elde edilen çığ hızı, basınç değerleri ve durma mesafesi değeri başlangıç değer tahminleri ile doğrudan ilişkilidir. Dinamik modeller, çığ hattı üzerinde bulunan yapılara gelen çarpma basıncını ve çığ hızlarını belirlemekte kullanılmaktadır. Çığ hareketinin modellenmesinde önemli bir diğer konu sürtünme parametrelerinin belirlenmesidir. Bu parametrelerdeki küçük değişimler durma mesafelerinde büyük değişimlere yol açabilir.

Bu proje kapsamında çığa özgü verilerin toplanması, otomatik çığ istasyonu kurulumu, çığın dinamik olarak modellenmesi ve dinamik çığ sayısal modellerinden birisi olan RAMMS'ın Türkiye'de kullanımının uygunluğunun sınanması, istatistiksel açıdan konunun değerlendirilme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Pilot bölge olarak seçilen İzmir ili sınırlarında, Ödemiş ilçesi yakınlarında bulunan Bozdağ Kayak Merkezi üst kotlarından elde edilen kar profilleri sayesinde dönemsel kar stabilite analizleri yapılmıştır. Çalışma üç yıl içerisinde Kasım 2014 – Kasım 2017 tarihleri arasında tamamlanmıştır.



Proje Ekibi

Proje Yürütücüsü: Yrd. Doç. Dr. Önder Koçyiğit
Gazi Üniversitesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü

Araştırmacı: Öğr. Gör. Dr. Erhan Tekin
Gazi Üniversitesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü

Araştırmacı: İnşaat Yük. Müh. Gökhan Arslan
(T.C. Başbakanlık, AFAD)

Araştırmacı: Jeoloji Müh. Mehmet Coşkun
(T.C. Başbakanlık, AFAD)

Araştırmacı: Dr. Abdullah Ceylan
(T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Bölge Müd. V. /Trabzon)

Araştırmacı: Yusuf Ulupınar
(T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Bölge Müd. V. /Konya)

Doktora Öğrencisi: İnş. Yük. Müh. Erhan Demir
DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd Planlama ve Tahsisler Dai. Bşk. Yrd.

Yüksek Lisans Öğrencisi: İnş. ve Endüstri Müh. Levent Bütün

TÜBİTAK'a 11M311 nolu projeye verdiği destek için teşekkür ederiz.

Proje İletişim Bilgileri

Gazi Ünv. Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendsiliği Bölümü
Eti Mah. Yükseliş Sokak No: 5 Maltepe
ANKARA

Tel: 0(312)582 32 30
E-posta: konder@gazi.edu.tr

Web'de ziyaret edin:
turkiyecig.com

SUNUM 1

Türkiye'de Çığ Problemi ve Genel Değerlendirme

Dr. Önder Koçyiğit
Gazi Ünv. Mühendislik Fakültesi
İnşaat Müh. Bölümü Öğretim Üyesi

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 114M311 nolu proje kapsamında desteklenmektedir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

SUNUM İÇERİĞİ

* Proje Amaçları
* Dünyada ve Türkiye'de Kar ve Çığ Çalışmaları
* Uygulama Alanı ve Proje Tanıtımı
* Proje Çalışmaları
* Sonuçlar ve Öneriler

PROJE AMAÇLARI

Ülkemizde kış döneminde dağlık arazilerde yaşanan çığ sorunu ile ilgili yapılması gereken birçok çalışma mevcuttur. Bunlar genel anlamda;

* çığ tahmini,
* modelleme,
* kar profilleri,
* çığ önlem yapılarının tasarımı,

olarak sıralanabilir.

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

PROJE AMAÇLARI

Hem çığ tahmini hem de çığ modellemesi amaçlı yararlanılabilecek, kış mevsimi boyunca **çığ başlangıç kotlarından toplanması gereken** meteorolojik ve kar örtüsüne ait verilerin düzenli olarak elde edilmesi amacıyla otomatik çığ istasyonu kurulması.

PROJE AMAÇLARI

Sayısal Model Çalışmaları
Ülkemize özgü bir model tasarımı ve günümüzde kullanılan hazır modellerin ülkemizde kullanılabilirliğinin sınanması.

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

PROJE AMAÇLARI

İstatistiksel Çalışmalar
Bölgesel modellerin hazırlanmasında oldukça faydalı olabilecek istatistiksel çalışmaların literatürdeki örneklerinin ülkemiz açısından değerlendirilmesi.

PROJE AMAÇLARI

Kar Profilleri

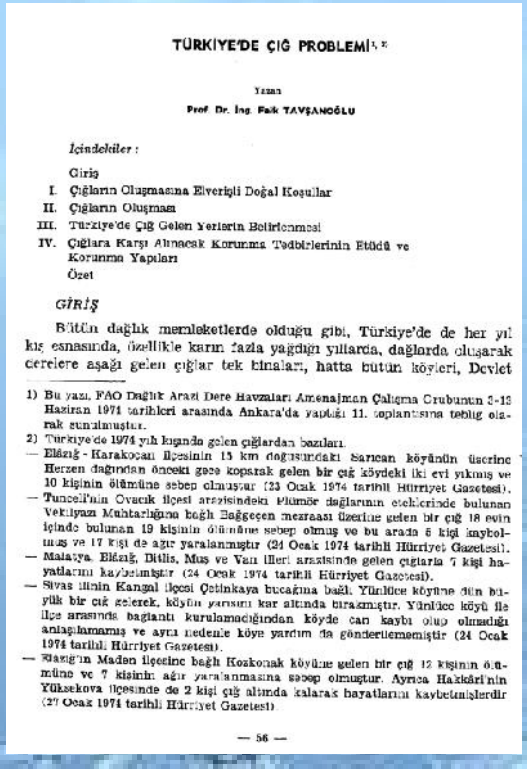
Arazide bulunan kar örtüsünün stabilitesini belirlemek amacıyla araziden belirli dönemlerde elde edilen kar örtüsü bilgileridir. Literatürdeki uygulamalar ve ülkemizde uygulanabilirliği.

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

DÜNYADA KAR VE ÇIĞ ÇALIŞMALARI

- KAR FİZİĞİ ÇALIŞMALARI
  - Soğuk İklim Laboratuvarı (Örneğin :Montana State Ünv.)
  - Akademik çalışmalar
- TAHMİN VE UYARI ÇALIŞMALARI
  - Meteorolojik veriler ve Kar örtüsü verileri
  - Kar Profilleri
  - Çığ Tahmin Modelleri
- ÇIĞDAN KORUNMA ÇALIŞMALARI
  - Aktif Koruma Yöntemleri
  - Pasif Koruma Yöntemleri
- HARİTALAMA ÇALIŞMALARI
- ÇIĞ MODELLEME ÇALIŞMALARI
  - DİNAMİK Modelleme
  - İSTATİSTİKSEL Modelleme

TÜRKİYE'DE KAR VE ÇIĞ ÇALIŞMALARI 1974



TÜRKİYE'DE ÇIĞ PROBLEMİ[1, 2]

Yazan

Prof. Dr. İng. Faik TAVŞANOĞLU

İçindekiler :

Giriş
I. Çığların Oluşmasına Elverişli Doğal Koşullar
II. Çığların Oluşması
III. Türkiye'de Çığ Gelen Yerlerin Belirlenmesi
IV. Çığlara Karşı Alınacak Korunma Tedbirlerinin Etüdü ve Korunma Yapıları
Özet

GİRİŞ

Bütün dağlık memleketlerde olduğu gibi, Türkiye'de de her yıl kış esnasında, özellikle karın fazla yağdığı yıllarda, dağlarda oluşarak derelere aşağı gelen çığlar tek binaları, hatta bütün köyleri, Devlet

1) Bu yazı, FAO Dağlık Arazi Dere Havzaları Amenajman Çalışma Grubunun 3-13 Haziran 1974 tarihleri arasında Ankara'da yapılığı 11. toplantısına tebliğ olarak sunulmuştur.

2) Türkiye'de 1974 yılı kışında gelen çığlardan bazıları.

— Elâzığ - Karakoçan ilçesinin 15 km doğusundaki Sarıcan köyünün üzerine Herzen dağından önceki gece kopsrak gelen bir çığ köydeki iki evi yıkmış ve 10 kişinin ölümüne sebep olmuştur (23 Ocak 1974 tarihli Hürriyet Gazetesi).

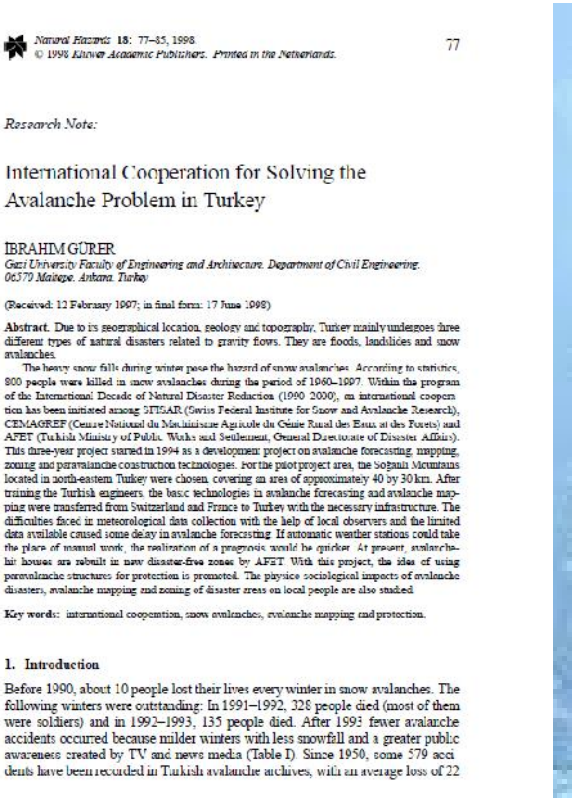
— Tunceli'nin Ovacık ilçesi arazisindeki Pülümür dağlarının eteklerinde bulunan Vekilyazı Muhtarlığına bağlı Bağgeçen mezrası üzerine gelen bir çığ 18 evin içinde bulunan 19 kişinin ölümüne sebep olmuş ve bu arada 5 kişi kaybolmuş ve 17 kişi de ağır yaralanmıştır (24 Ocak 1974 tarihli Hürriyet Gazetesi).

— Malatya, Elâzığ, Bitlis, Muş ve Van illeri arasısında gelen çığlarla 7 kişi hayatlarını kaybetmiştir (24 Ocak 1974 tarihli Hürriyet Gazetesi).

— Sivas ilinin Kangal ilçesi Çatınkaya bucağına bağlı, Yünlüce köyüne dün büyük bir çığ gelerek, köyün yarısını kar altında bırakmıştır. Yünlüce köyü ile ilçe arasında bağlantı kurulamadığından köyde can kaybı olup olmadığı anlaşılamamış ve ayrıca nedenle köye yardım da gönderilememiştir (24 Ocak 1974 tarihli, Hürriyet Gazetesi).

— Elazığ'ın Maden ilçesine bağlı Kozkonak köyüne gelen bir çığ 12 kişinin ölümüne ve 7 kişinin ağır yaralanmasına sebep olmuştur. Ayrıca Hakkâri'nin Yüksekova ilçesinde de 2 kişi çığ altında kalarak hayatlarını kaybetmişlerdir (27 Ocak 1974 tarihli Hürriyet Gazetesi).

TÜRKİYE'DE KAR VE ÇIĞ ÇALIŞMALARI 1998



Natural Hazards 18: 77–85, 1998.
© 1998 *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.*

Research Note:

International Cooperation for Solving the Avalanche Problem in Turkey

İBRAHIM GÜRER
Gazi University Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, 06570 Maltepe, Ankara, Turkey

(Received: 12 February 1997; in final form: 17 June 1998)

Abstract. Due to its geographical location, geology and topography, Turkey mainly undergoes three different types of natural disasters related to gravity flows. They are floods, landslides and snow avalanches.

The heavy snow falls during winter pose the hazard of snow avalanches. According to statistics, 800 people were killed in snow avalanches during the period of 1960–1997. Within the program of the International Decade of Natural Disaster Reduction (1990–2000), an international cooperation has been initiated among SLF/SAR (Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research), CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forets) and AFET (Turkish Ministry of Public Works and Settlement, General Directorate of Disaster Affairs). This three-year project started in 1994 as a development project on avalanche forecasting, mapping, zoning and paravalanche construction technologies. For the pilot project area, the Soğanlı Mountains located in north-eastern Turkey were chosen, covering an area of approximately 40 by 30 km. After training the Turkish engineers, the basic technologies in avalanche forecasting and avalanche mapping were transferred from Switzerland and France to Turkey with the necessary infrastructure. The difficulties faced in meteorological data collection with the help of local observers and the limited data available caused some delay in avalanche forecasting. If automatic weather stations could take the place of manual work, the realization of a prognosis would be quicker. At present, avalanche-hit houses are rebuilt in new disaster-free zones by AFET. With this project, the idea of using paravalanche structures for protection is promoted. The physico-sociological impacts of avalanche disasters, avalanche mapping and zoning of disaster areas on local people are also studied.

Key words: international cooperation, snow avalanches, avalanche mapping and protection.

1. Introduction

Before 1990, about 10 people lost their lives every winter in snow avalanches. The following winters were outstanding: In 1991–1992, 328 people died (most of them were soldiers) and in 1992–1993, 135 people died. After 1993 fewer avalanche accidents occurred because milder winters with less snowfall and a greater public awareness created by TV and news media (Table I). Since 1950, some 579 accidents have been recorded in Turkish avalanche archives, with an average loss of 22

TÜRKİYE'DE KAR VE ÇIĞ ÇALIŞMALARI 2007



G.U. Journal of Science
19(3): 79-85 (2006)

GUJS

www.gujs.org

Effect of the Voellmy Coefficients on Determining Run-out Distance: A Case Study at Uzungöl, Turkey

Önder KOÇYİĞİT*, İbrahim GÜRER

Gazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Civil Engineering Department, Maltepe, 06570, Ankara

Received: 11.02.2006 Accepted: 12.06.2006

ABSTRACT

In this study, the traditional Voellmy model which has been widely applied since 1936 for all types of avalanches was used in defining the path length to compute the run-out distance of avalanches that occurred in Uzungöl. Uzungöl, a village which is located in a valley of North-Eastern Anatolia was chosen as a pilot project area where a large fatal snow avalanche occurred in this area in 1990 across the village. During limited visits and field observations, dynamic and turbulence friction coefficients were taken as μ= 0.155 and ξ= 500 m/s^2, respectively, for well defined slopes. Although it wasn't possible to check most of the computed values which need to be measured during an avalanche the run-out distance was found to be determined quite accurately. A number of the Voellmy coefficients were varied to compute the run-out distance, and the effect of these coefficients on the hydraulic parameters of the avalanche, such as discharge, velocity and depth, was investigated.

Key Words: Voellmy coefficients, Extreme flow, Avalanche dynamic, Uzungöl

1. INTRODUCTION

The number of avalanche incidents has dramatically increased in recent decades such that 60% of total avalanche events in Turkey occurred in the last 15 years [1]. A number of victims lost their lives in these avalanches especially in Eastern Anatolia, where highly mountainous regions exist. Two main reasons caused this catastrophic result: The first reason was the heavy winter conditions occurred in recent years and the second reason was that Turkey was unprepared to cope with an avalanche problem of that size. After facing a number of big avalanches resulting in loss of lives, collaborative research and international projects were then undertaken between Turkey and some European Countries, such as Switzerland and France within the framework of the International Decade of Natural Disaster Reduction (IDNDR) [1]. The resultant joint research project integrated to prepare hazard zone mapping in Turkey, to form an avalanche law, to educate local people and engineers in this field of avalanche research and finally to arouse the public's interest in avalanche incidents. Among the case study areas considered, Uzungöl village, which is placed in a typical mountainside valley in North-eastern Anatolia, was preferred as a pilot project area (Figure 1). The reasons

*Corresponding author, e-mail: kocdes@gazi.edu.tr

this village was chosen as a case study area were that the place is a winter tourist destination and that a vital avalanche occurred in the 1990 winter season resulting in loss of lives. The altitude of the avalanche track is between 1700 m and 2170 m and the track faces towards the north. There is a dense forest of coniferous trees around Uzungöl. However, very limited avalanche data was available for this area that could be used in forest and stable structures, and in design avalanche protection structures. During the project [1] besides the existing meteorological station in the area, a special measurement device was used to collect required data regularly in the framework of the collaboration. Snow depths, wind direction and speed, density of snow, temperature of snow and snow water equivalence were among some of the parameters that were collected. These parameters were measured daily during the project period. A project team, visited the area periodically and necessary snow profiles and performed Rutschblock tests. However, essential parameters such as the avalanche velocity and density of flow for the path suggested by Dozer and Frutiger [2], which enable the computation of the target pressure and the run out distance could not be measured during the 1990 avalanche incident. Nevertheless, the Voellmy [3] approach, which has been widely used since 1936 for





TÜRKİYE'DE KAR VE ÇIĞ ÇALIŞMALARI 1996-ERCİYES DAĞI



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

TÜRKİYE'DE KAR VE ÇIĞ ÇALIŞMALARI

- KAR FİZİĞİ ÇALIŞMALARI
  - Soğuk İklim Laboratuvarı (Örneğin :Montana State Ünv.)
  - Akademik çalışmalar
- TAHMİN VE UYARI ÇALIŞMALARI
  - Meteorolojik veriler ve Kar örtüsü verileri
  - Kar Profilleri
  - Çığ Tahmin Modelleri
- ÇIĞDAN KORUNMA ÇALIŞMALARI
  - **Aktif Koruma Yöntemleri**
  - **Pasif Koruma Yöntemleri**
- **HARİTALAMA ÇALIŞMALARI**
- ÇIĞ MODELLEME ÇALIŞMALARI
  - **DİNAMİK Modelleme**
  - İSTATİSTİKSEL Modelleme



Soğuk İklim Laboratuvarı



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

PROJE TANITIMI

TÜBİTAK tarafından desteklenen projemiz Gazi Ünv. İnşaat Müh. Böl. yürütücülüğünde BAŞBAKANLIK AFAD ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü işbirliğinde devam etmektedir.

Kasım 2014 tarihinde yürürlüğe giren Projede

1 yürütücü,

5 araştırmacı,

1 doktora öğrencisi ve

1 yüksek lisans öğrencisi görev almaktadır.

Proje detaylı tanıtımı

http://turkiyecig.com/

UYGULAMA ALANI



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

UYGULAMA ALANI-İZMİR-BOZDAĞ (2159 m)



UYGULAMA ALANI



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

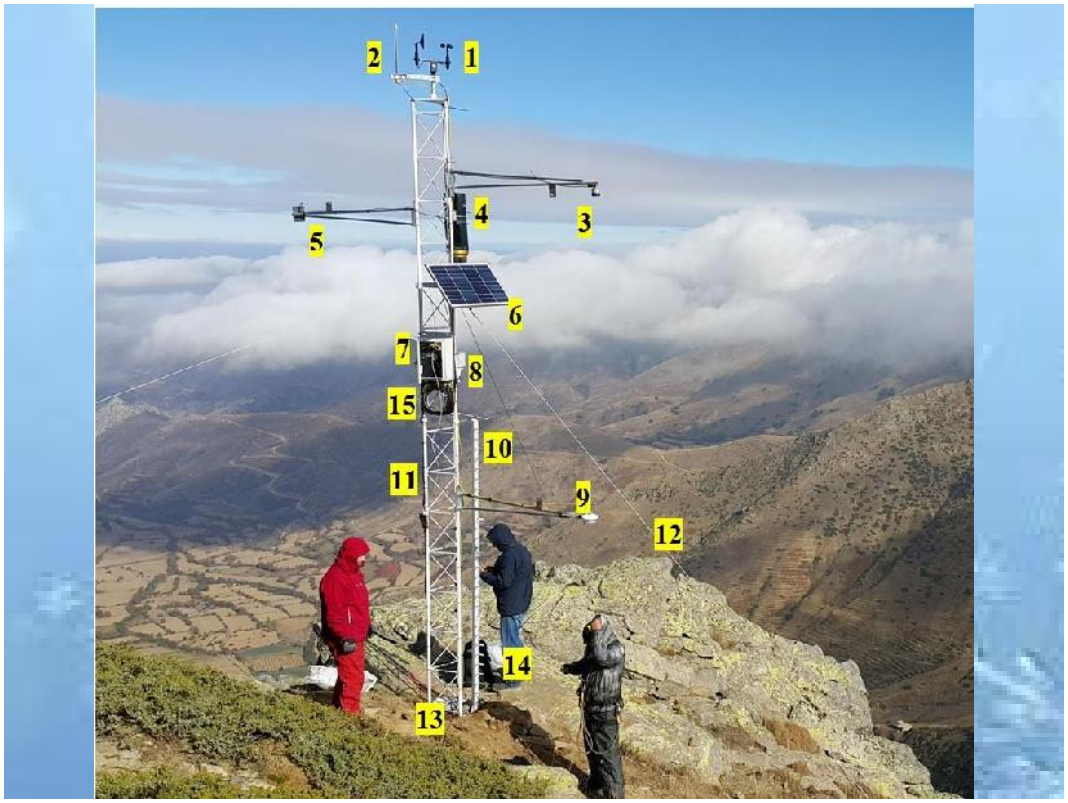
UYGULAMA ALANI

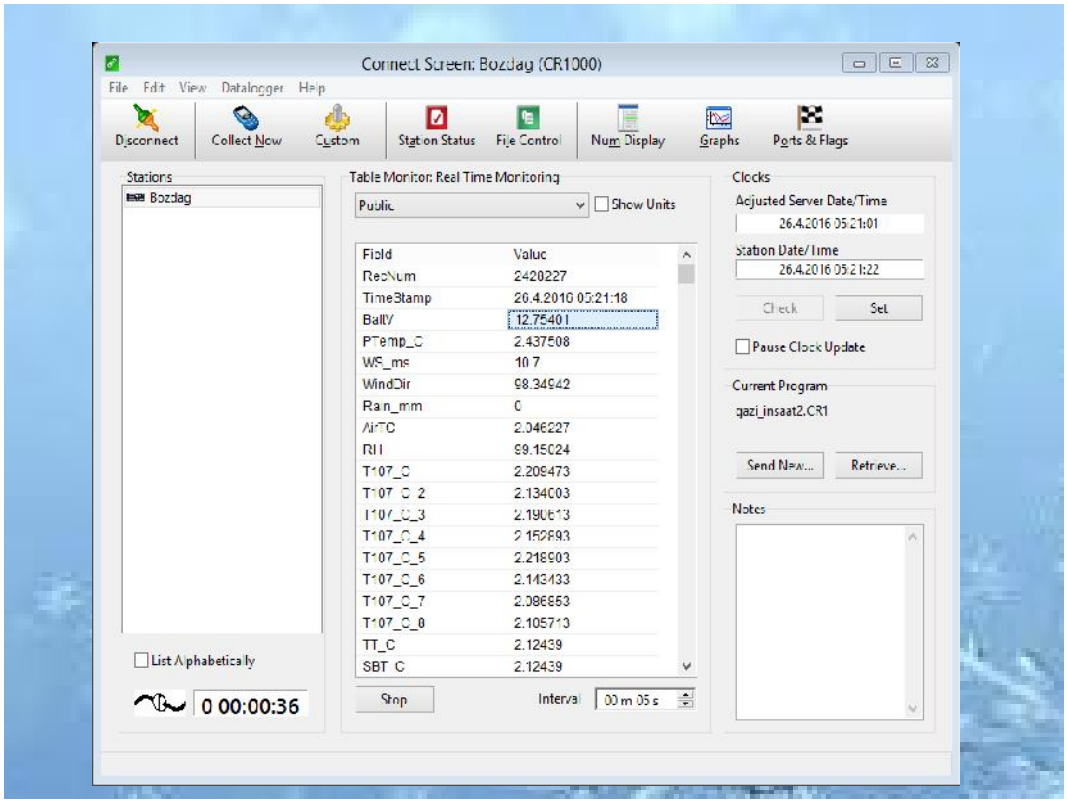


Proje Çalışmaları (2100 m)

İstasyon Kurulumu (2100 m)







VERİLER

Rüzgâr Yönü (°)
Rüzgâr Hızı (m/s)
Albedo
Sıvı yağışı (mm)
Hava Sıcaklığı (°C)
8 Noktada Kar Sıcaklık (°C)
Bağıl (Nispi) Nem (%)
Kar Yüksekliği (cm)
Yüzey Sıcaklığı (°C)

Veri toplama ünitesinde veriler hafıza kartına yazılmaktadır. İnternet üzerinden istenilen zamanda modemle bağlantı kurularak bu veriler LoggerNet Connect yazılımıyla masaüstü bilgisayara çekilebilmektedir.

İstasyon Bileşenleri

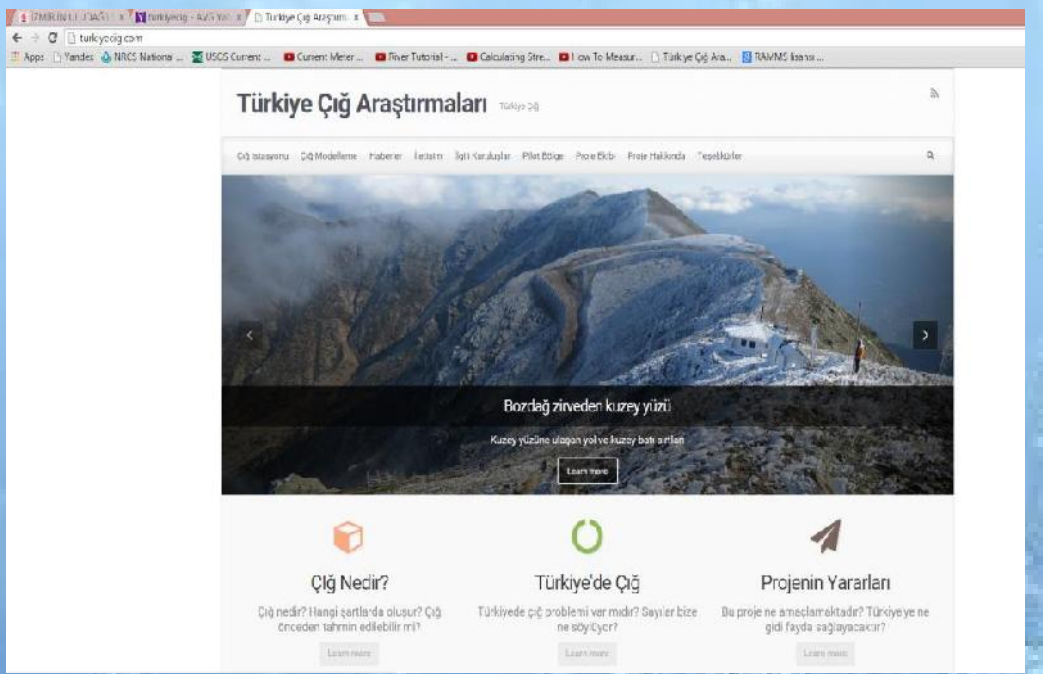


İstasyon Bileşenleri



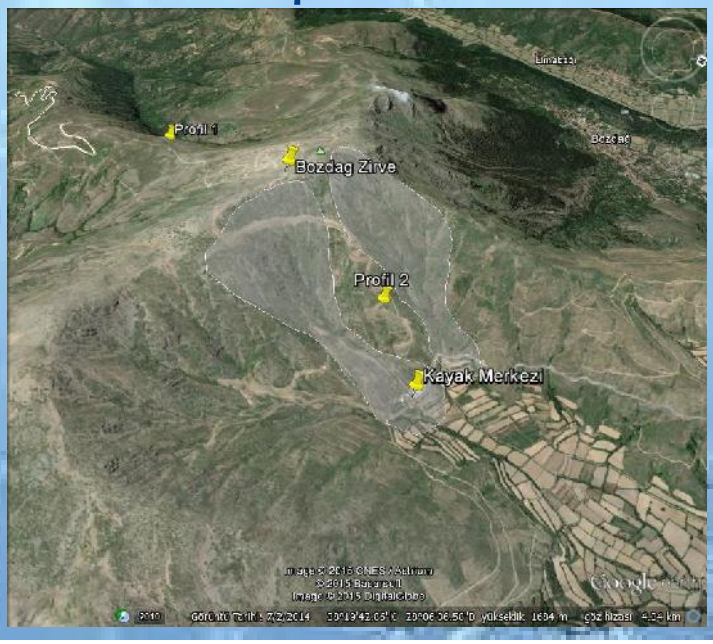
TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

Web ile tanıtım çalışmaları



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

Kar profilleri



UYGULAMA ALANI



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

KAR PROFİLİ ALIMI



- Bozdağ Kuzey Cephesinden Profil Alımı

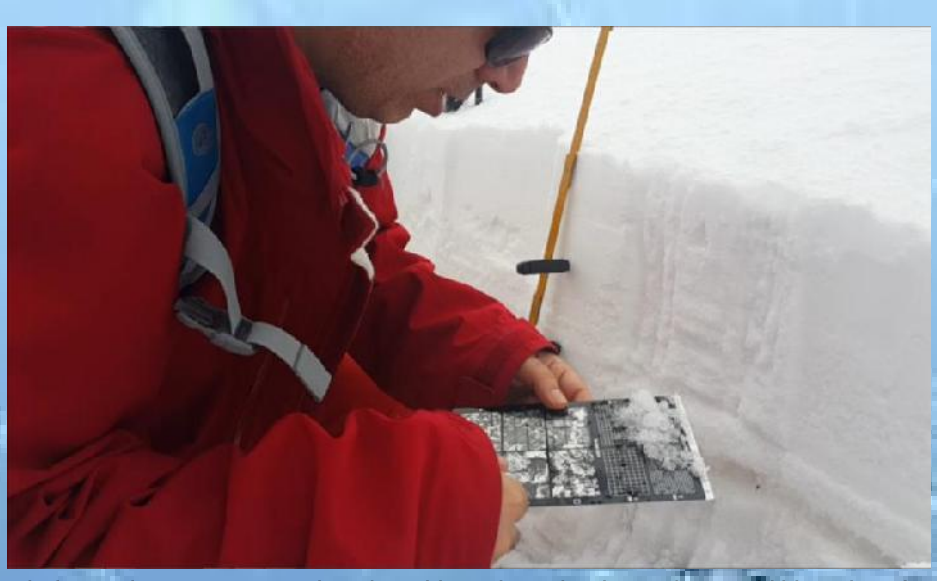
TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

KAR PROFİLİ ALIMI



TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

KAR PROFİLİ ALIMI

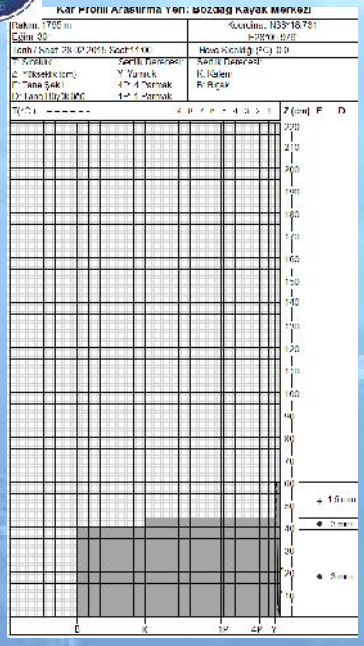


Tabaka sertliği, nem içeriği, dane büyüklüğü, kristal tipleri ve kar sıcaklıkları ölçümleri

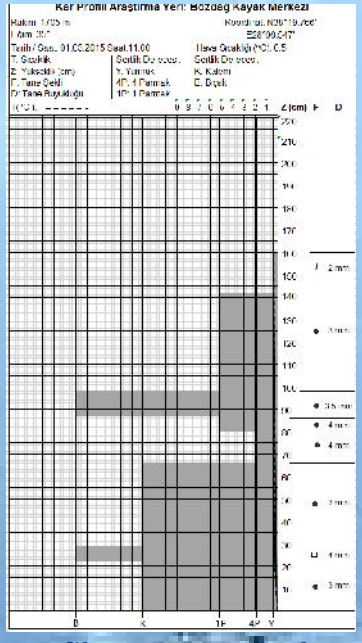


* Kar-su Eşdeğeri Ölçümü

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017



* Profil-1 Güney cephe kar profili

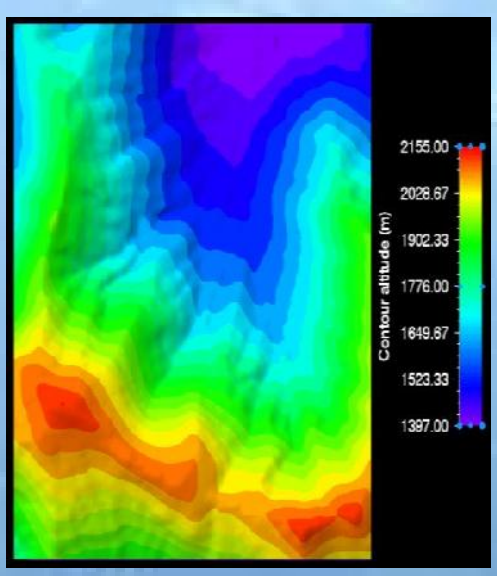


* Profil-2 Kuzey cephe kar profili

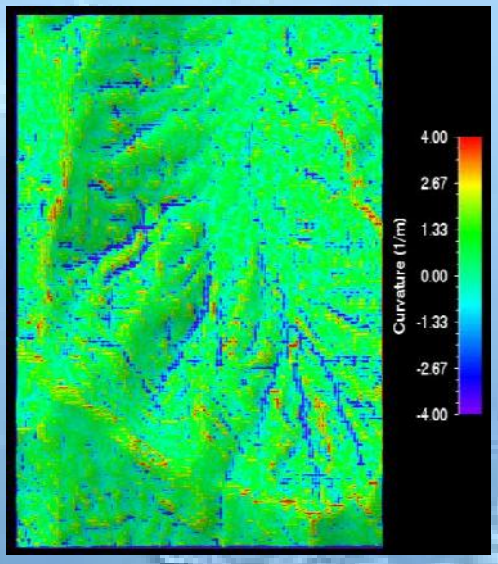
ÇIĞ MODELLEME ÇALIŞMALARI



HARİTALAMA

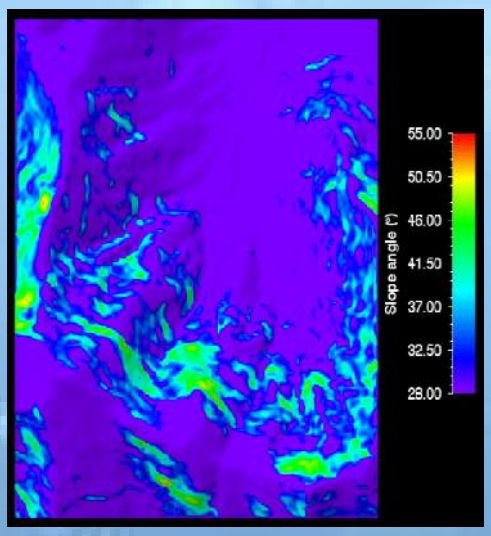


Bozdağ yükseklik haritası



Bozdağ eğrilik haritası

HARİTALAMA



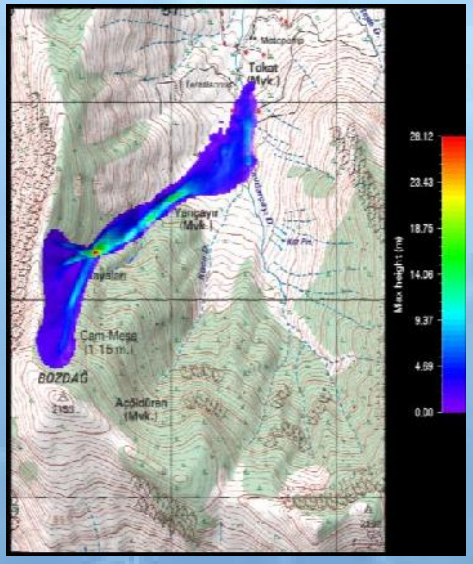
Bozdağ arazi eğimi haritası

RAMMS Modeli

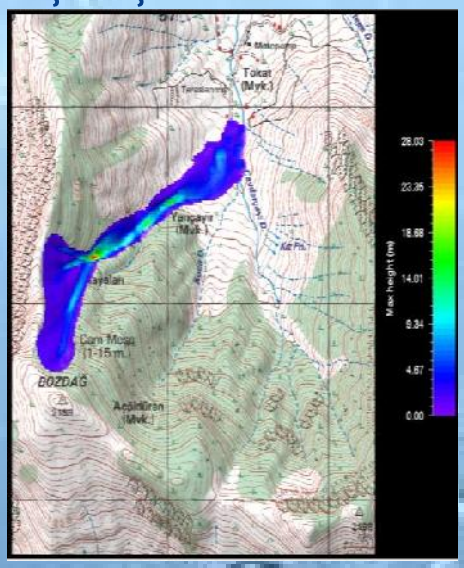
İki boyutlu çığ hesaplama modeli
RAMMS (Rapid Mass Movement System - hızlı hareket eden kütle sistemi)
WSL (Institude for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, İsviçre) tarafından geliştirilmiş
bir boyutlu sayısal model AVAL 1-D'nin devamı
ticari olarak 2010 yılından itibaren kullanılmaktadır.
Programda hız vektörü üç boyutlu arazi üzerinde iki yönde hesaplanmakta, ayrıca akım yönü ve çığ genişliği model tarafından belirlenmektedir. Hesaplamada kullanılan çözüm ağı sayısal arazi modeli üzerinden yaratılabilmektedir.

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

ÇIĞ MODELLEME ÇALIŞMALARI



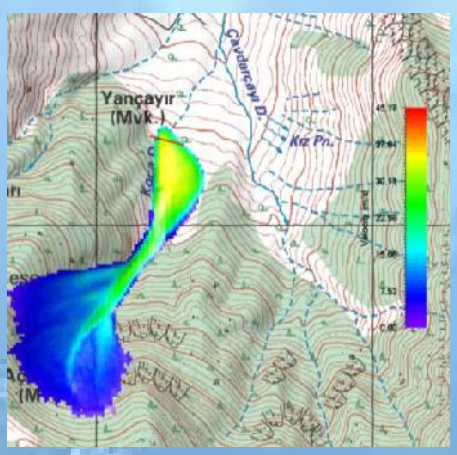
Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=300)

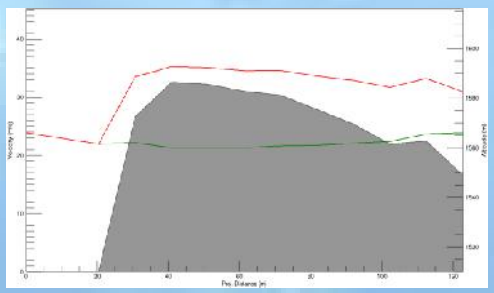


Maksimum çığ yüksekliği (h=1.50 Tr=10)

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

ÇIĞ MODELLEME ÇALIŞMALARI





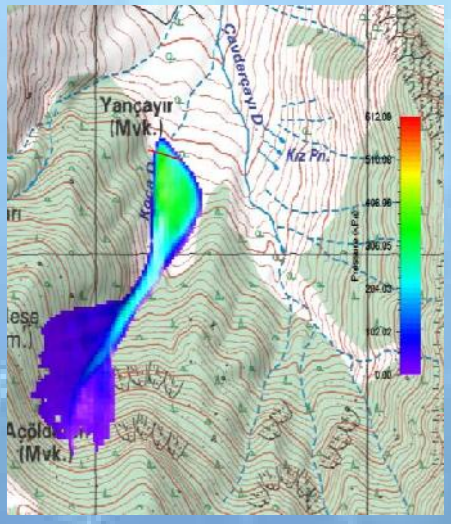
RAMMS Profile Data

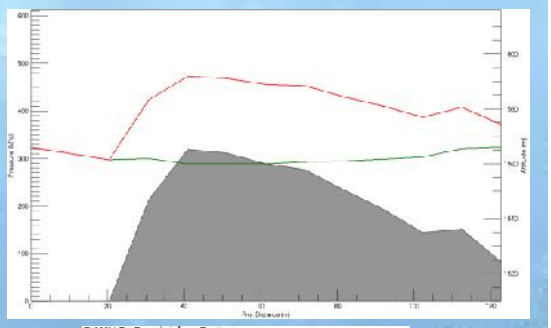
1st column: Proj. distance (m)
2nd column: altitude (m a.s.l.)
3rd column: velocity (m/s)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	26.6002
40.9280	1560.00	32.6220
51.1145	1560.00	32.2261
61.3617	1560.00	31.0291
71.6088	1560.75	30.3442
81.7953	1561.00	27.8894
92.0425	1561.75	25.3819
102.290	1562.50	21.9130
112.476	1563.50	22.1768
122.723	1566.00	16.6326

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

ÇIĞ MODELLEME ÇALIŞMALARI





RAMMS Profile Data

1st column: Proj. distance (m)
2nd column: Altitude (m a.s.l.)
3rd column: Pressure (kPa)

0.000000	1566.00	0.000000
10.2471	1563.75	0.000000
20.4337	1561.50	0.000000
30.6808	1562.00	212.272
40.9280	1560.00	319.258
51.1145	1560.00	311.556
61.3617	1560.00	288.842
71.6088	1560.75	276.231
81.7953	1561.00	233.345
92.0425	1561.75	193.273
102.290	1562.50	144.054
112.476	1563.50	151.561
122.723	1566.00	82.5927

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

GENEL DEĞERLENDİRME

Bildiri	Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum	ULUSAL ÇIĞ ÇALIŞMALARINA AKADEMİK KATKI	Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, 2016
Bildiri	Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum	RECENT DEVELOPMENTS OF AVALANCHE RESEARCH IN TURKEY	International Snow Science Workshop ISSW, 2016 Colorado, USA
Bildiri	Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum	Çığ Tahmininde Kar Profili Analizi: Bozdağ Örneği	Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu,Çankaya Ünv. Ankara,2015
Bildiri	Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum	Çığ Verilerinin Toplanması, Çığın Dinamik ve İstatiksel Modellemesi ve Durma Mesafesi Uygulaması	Çığ Projeleri Eğitimi Ve Çalıştayı, Trabzon, 2016
Bildiri	Uluslararası Bildiri - Poster Sunum	NUMERICAL MODEL APPLICATION ON SNOW AVALANCHE IN TURKEY	International Snow Science Workshop ISSW, 2016 Colorado, USA
Makale	Diğer Hakemli Makale	Avalanche Research Studies at Bozdağ	Disaster Science and Engineering, Cilt 2, Sayı 2, ss: 40-45,2016

GENEL DEĞERLENDİRME

Kurumlararası koordinasyon
Güncel verilerin paylaşımı
Yapı tasarımında çığ etkisi
Çığa karşı koruma yapılarının standartlara uygunluğu
Akademik çalışmaların desteklenmesi

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ – 24 EKİM 2017

TEŞEKKÜRLER


SUNUM 2

Gazi Üniversitesi – TUBİTAK (114M311)

Türkiye'de Çığ Araştırmaları Çalıştayı

24 Ekim 2017

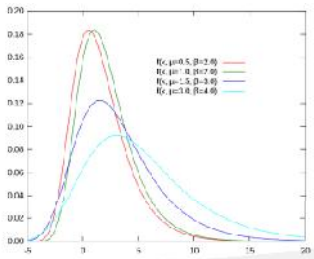
İstatistiksel Olarak Durma Mesafesi Tahmin Çalışması

Öğr. Gör. Dr. Erhan Tekin
Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
etekin@gazi.edu.tr

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 114M311 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.
TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

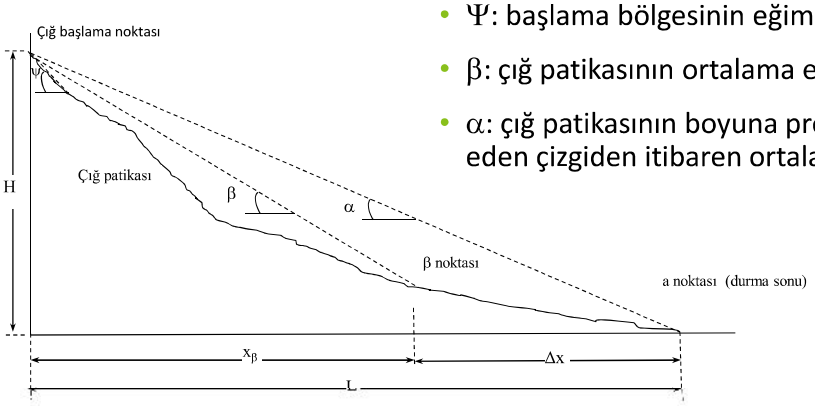
İstatistiksel Modeller

- α - β Modeli (Lied ve Bakkehoi (1980))
  - en küçük kareler regresyon analizi
  - ekstrem durma noktası (a)
  - a: uzun eğimler için 10°
  - a: kısa eğimler için 24°
- Durma Oranı Modeli (McClung ve Lied (1986))
  - Gumbel dağılımı

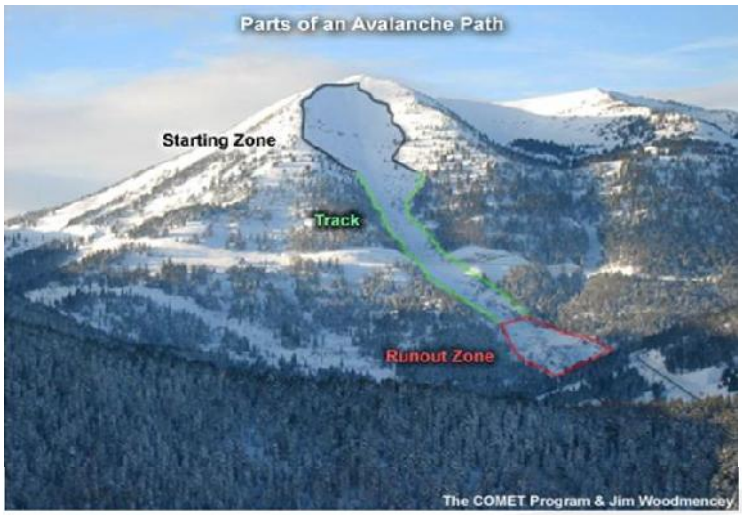


α - β modeli (Norveç Geoteknik Enstitüsü)

- H: düşey düşme yüksekliği H,
- Ψ: başlama bölgesinin eğimi,
- β: çığ patikasının ortalama eğimi
- α: çığ patikasının boyuna profilini temsil eden çizgiden itibaren ortalama eğim



Çığ Patikası



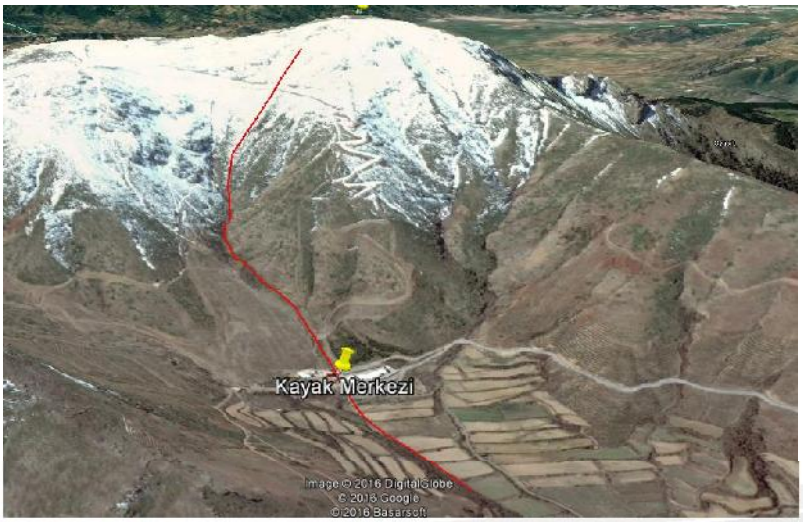
α - β modeli

Araştırmacılar	Bölge	Alfa Beta	R^2	Standart hata	Veri sayısı, n
Lied ve Bakkehoi (1980)	Norveç Dağları	$\alpha = 0.98\beta - 1.2°$	0.90	2.44	275
McClung ve Mears, (1991)	Rocky ve Purcell Dağları	$\alpha = 0.93\beta$	0.75	1.75	126
Nixon ve McClung, (1993)	Coast Dağları	$\alpha = 0.90\beta$	0.74	1.70	20
Delparte vd., (2008)	Columbia Dağları	$\alpha = 0.93\beta$	0.89	1.10	35
Johnston vd., (2011)	Columbia Dağları	$\alpha = 0.91\beta + 0.34°$	0.92	1.20	31
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	Avusturya Alpleri	$\alpha = 0.946\beta - 0.83°$	0.92	1.50	80

Bozdağ



α - β modeli - Bozdağ



Bozdağ- Çığ Başlama Bölgesi?



Bozdağ



Çığ patikası boy profili



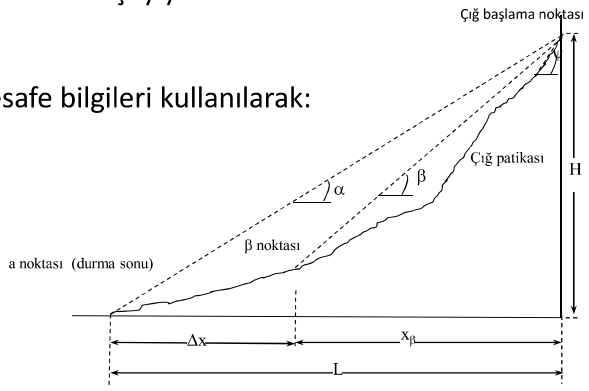
Çığ patikası profili

Tanım	Denklem	R^2
Lineer	y = - 0.3187x + 1964.3	0.943
2. derece polinom	$y = 0.0002x^2 - 0.6077x + 2044.7$	0.998
3. derece polinom	$y = -6E\text{-}8x^3 + 0.0003x^2 - 0.7315x + 2062.7$	0.999



β noktasının tespiti

- β noktası – çığ başlangıç noktası yatay mesafe: 1260 m
- β noktası – çığ başlangıç noktası düşey yükseklik farkı: 1537 m
- Daha önce elde edilen mesafe bilgileri kullanılarak:
- $\beta = \tan^{-1}\frac{2054-1537}{1260}$
- β = 22.3°



α açısı değişkenliği

	Model	α (°)	σ (°)	α Alt Sınır (°)	α Üst Sınır (°)
Lied ve Bakkehoi (1980)	α = 0.98β - 1.2°	20.7	-	-	-
	α = 0.98β - 1.2°	-	2.4	18.3	-
	α = 0.98β - 1.2°	-	2.4	-	23.2
McClung ve Mears, (1991)	α = 0.93β	20.7	-	-	-
	α = 0.93β	-	1.8	19.0	-
	α = 0.93β	-	1.8	-	22.5
Nixon ve McClung, (1993)	α = 0.90β	20.1	-	-	-
	α = 0.90β	-	1.7	18.4	-
	α = 0.90β	-	1.7	-	21.8
Delparte vd., (2008)	α = 0.93β	20.7	-	-	-
	α = 0.93β	-	1.1	19.6	
	α = 0.93β	-	1.1		21.8
Johnston vd., (2011)	α = 0.91β + 0.34°	20.6	-	-	-
	α= 0.91β + 0.34°	-	1.2	19.7	-
	α= 0.91β + 0.34°	-	1.2	-	22.1
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	α = 0.946β - 0.83°	20.3	-	-	-
	α = 0.946β - 0.83°	-	1.5	18.8	-
	α = 0.946β - 0.83°	-	1.5		21.8

Bozdağ için Alfa – Beta modeli mesafeleri X = [1260 1700]

		Lineer fonksiyon		2. derece fonksiyon		3. derece fonksiyon	
	α (°)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
Lied ve Bakkehoi (1980)	20.7	1516	1481	1188	1605	1841	1359
	18.3	-	-	1418	1585	-	-
	23.2	816	1704	945	1649	1356	1473
McClung ve Mears, (1991)	20.7	1516	1481	1188	1605	1841	1359
	19.0	3498	849	1351	1589	-	-
	22.5	939	1665	1013	1634	1470	1445
Nixon ve McClung, (1993)	20.1	1898	1359	1246	1598	2021	1314
	18.4	-	-	1408	1586	-	-
	21.8	1104	1613	1082	1621	1597	1415
Delparte vd., (2008)	20.7	1516	1481	1188	1605	1841	1359
	19.6	2399	1200	1294	1593	2260	1249
	21.8	1104	1613	1082	1621	1597	1415
Johnston vd., (2011)	20.6	1568	1464	1198	1604	1867	1352
	19.7	2279	1238	1284	1594	2197	1267
	22.1	1027	1637	1052	1627	1541	1428
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	20.3	1752	1406	1227	1600	1954	1331
	18.8	4128	649	1370	1588	-	-
	21.8	1104	1613	1082	1621	1597	1415

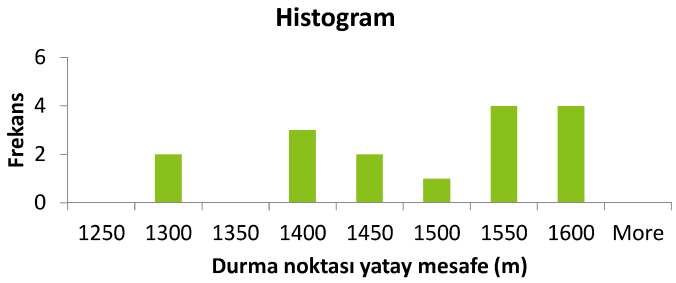
Bozdağ için olası alfa-beta modeli sonuçları

	Fonksiyon	x (m)	y (m)
Lied ve Bakkehoi (1980)	1. derece	1516	1481
McClung ve Mears, (1991)	1. derece	1516	1481
Delparte vd., (2008)	1. derece	1516	1481
Johnston vd., (2011)	1. derece	1568	1464
Lied ve Bakkehoi (1980)	2. derece	1418	1585
McClung ve Mears, (1991)	2. derece	1351	1589
Nixon ve McClung, (1993)	2. derece	1408	1586
Delparte vd., (2008)	2. derece	1294	1593
Johnston vd., (2011)	2. derece	1284	1594
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	2. derece	1370	1588
Lied ve Bakkehoi (1980)	3. derece	1356	1473
McClung ve Mears, (1991)	3. derece	1470	1445
Nixon ve McClung, (1993)	3. derece	1597	1415
Delparte vd., (2008)	3. derece	1597	1415
Johnston vd., (2011)	3. derece	1541	1428
Rudolf-Miklau, vd., (2014)	3. derece	1597	1415

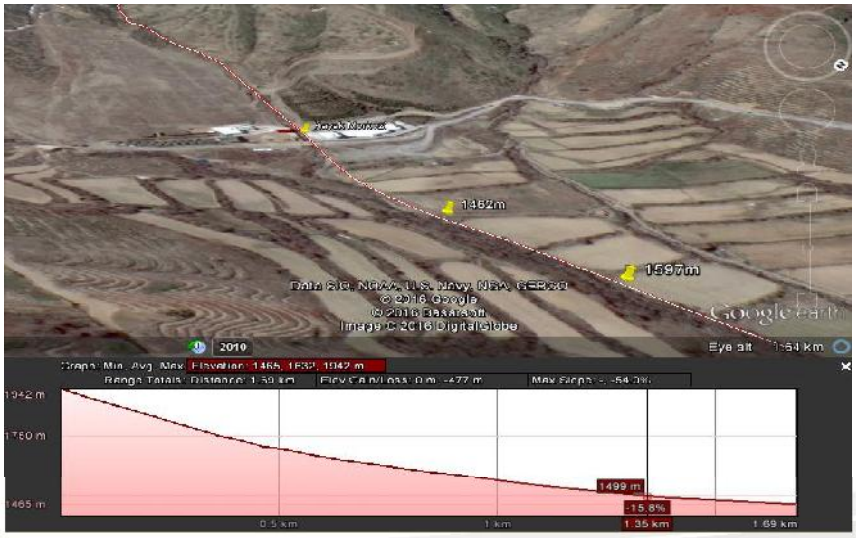
Olası alfa-beta modeli tanımlayıcı istatistik parametreleri

Tanım	Değer
Ortalama	1462
Standart hata	27.2
Medyan	1493
Mod	1516
Standart Sapma	108.7
Varyans	11827
Eğiklik	-1.3
Çarpıklık	-0.3
Aralık	312
Minimum	1284
Maksimum	1597
Toplam	23399
Sayı	16

Olası durma noktası yatay mesafesi histogramı



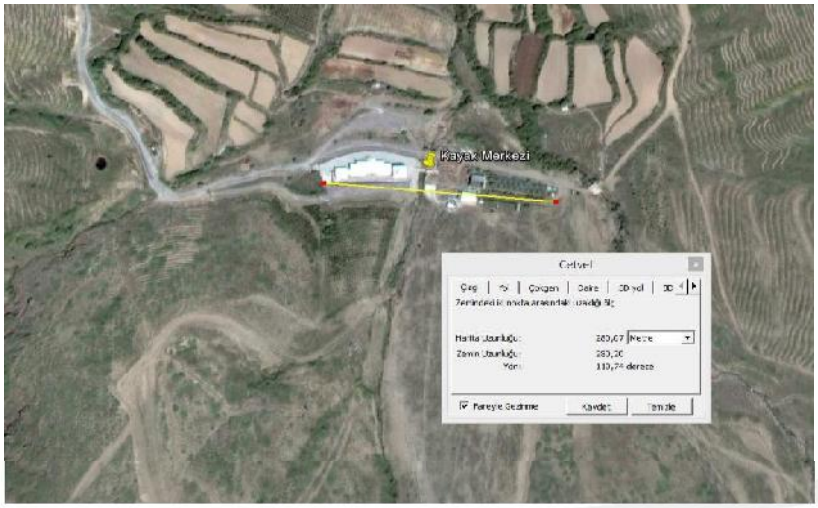
Sonuçlar



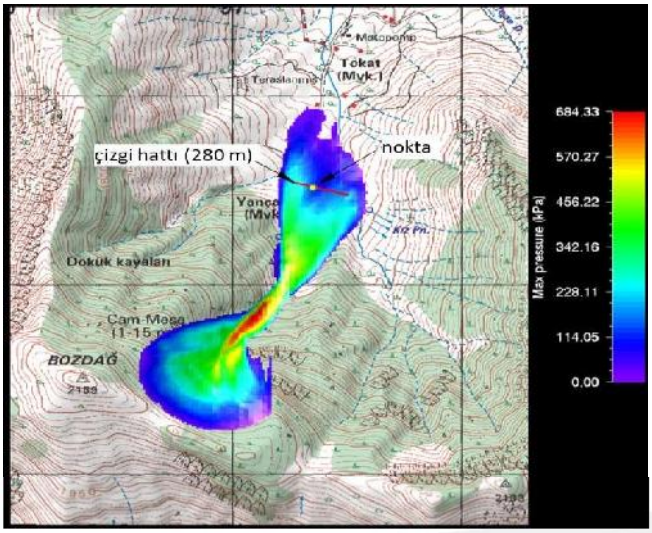
Bozdağ



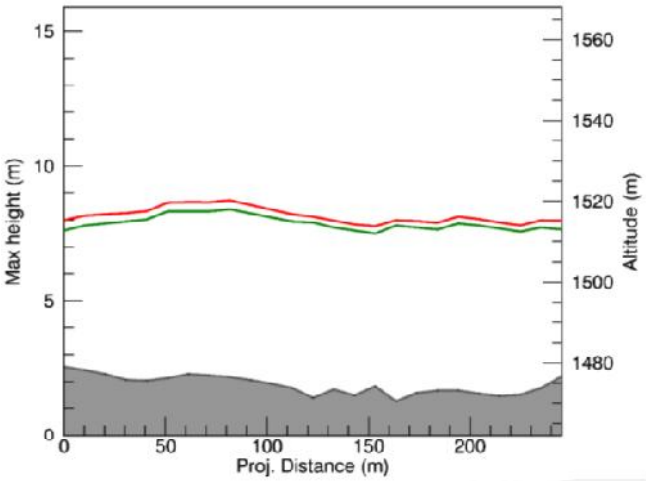
Bozdağ Kayak Merkezi – Konum ???



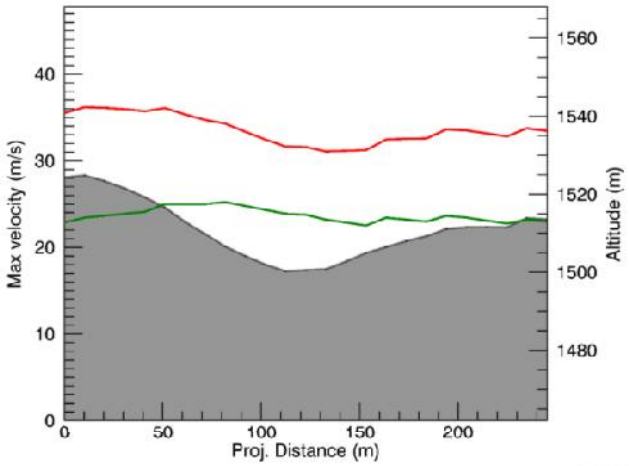
Bozdağ Kayak Merkezi – Senaryo RAMMS



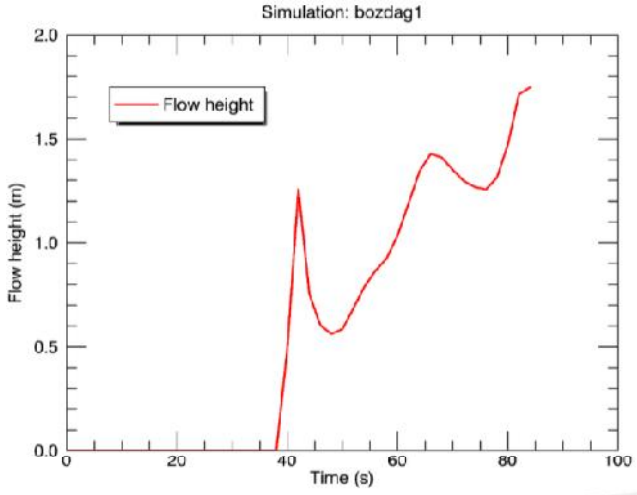
Maksimum Kar Yüksekliği Arazi Profili Ile Değişimi



Maksimum Çığ Hızının Arazi Profili Ile Değişimi



Maksimum Kar Yüksekliğinin Zamanla Değişimi



Bozdağ - İstasyon



Bozdağ - İstasyon



Bozdağ - İstasyon



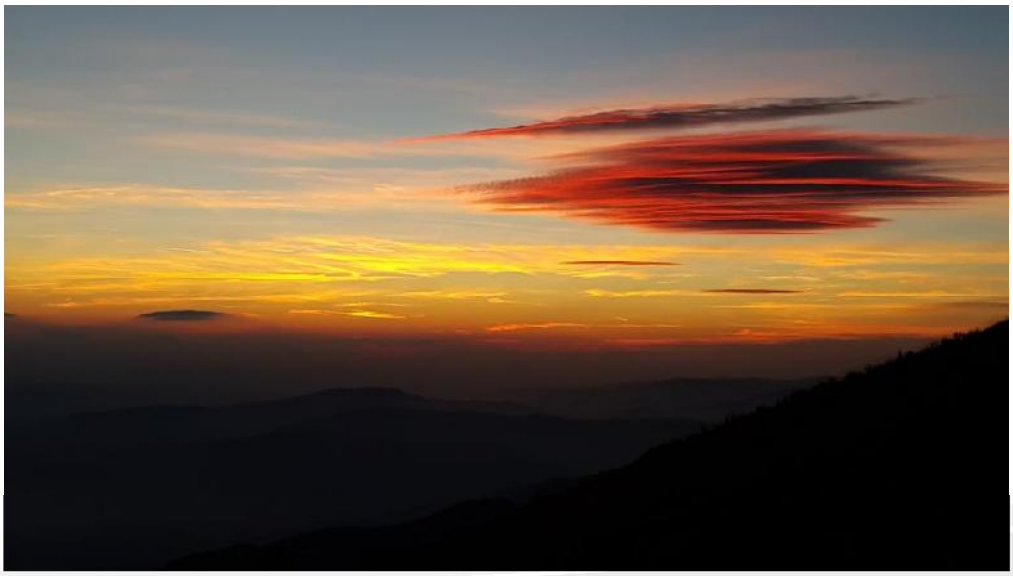
Bozdağ - İstasyon



Bozdağ - İstasyon



Bozdağ



Bozdağ



31

Bozdağ



32

Bozdağ



Bozdağ



Bozdağ




SUNUM 3

ÇIĞ GÖZLEMİ VE ÇIĞA ÖZGÜ VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (*)

İNŞ. YÜK. MÜH. GÖKHAN ARSLAN
AFET VE ACİL DURUM YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI, AFAD

(*) Bu çalışma TÜBİTAK tarafından **114M311** nolu proje kapsamında desteklenmektedir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Türkiye'de Çığ Çalışmaları Çalıştayı 2017

SUNUM İÇERİĞİ

- Giriş ve Çalışmanın Amacı
- Çığa Özgü Verilerin Elde Edilmesi
- Proje Alanı ve Yapılan Çalışmalar
- Verilerin Değerlendirilmesi
- Sonuç ve Öneriler

GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

- Ülkemizde yaşanan doğal afetlerden birisi de çığ afetidir. Afetin bölgesel dağılımı incelendiğinde özellikle
- **Doğu**,
- **Güneydoğu** ve
- **Doğu Karadeniz Bölgeleri** en çok çığ afeti ile karşı karşıya kalmaktadır.

- Hem çığ tahmini hem de çığ modellemesi amaçlı yararlanılabilecek, çığ başlangıç kotlarından kış mevsimi boyunca toplanması gereken meteorolojik ve kara ait verilerin elde edilmesi ile ilgili herhangi bir çalışma ülkemiz için bugüne kadar başlatılmamıştır.

- Bu nedenle Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öncülüğünde, Başbakanlık AFAD ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile birlikte TÜBİTAK destekli bir çığ araştırma projesi başlamıştır. Proje Kasım 2014 tarihi itibariyle başlamış olup, son aşamasına gelmiştir. Bu projede öncelikle çığ verilerinin bir pilot alan için toplanması, düzenlenmesi ve son olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI ÇALIŞTAYI 2017



Kuzey Yamaç



Güney Yamaç



ÇIĞA ÖZGÜ VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

- Çığ tehlikesinin belirlenmesinde rakım, kar yüksekliği, bakı, bitki örtüsü, arazi şekli, hakim rüzgar yönü gibi parametreler kullanılmaktadır.

- Türkiye'de kar ile ilgili veriler çoğunlukla kamu kurumları tarafından toplanmakta ve değerlendirilmektedir. Fakat her kurum kendi ihtiyaçları doğrultusunda istasyon kurduğundan çığa özel veriler bugüne kadar düzenli bir şekilde toparlanamamıştır.

- Örneğin en kapsamlı kar verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından düzenli bir şekilde kayıt edilse de çığ kopma bölgesi kotunda istasyon mevcut olmadığından alınan kar verileri çığ tehlikesinin belirlenmesi amaçlı olarak kullanılamamaktadır.
-
- Bu nedenle yapılan proje çalışması ile çığ başlama kotundan kapsamlı verilerin toplanabileceği bir otomatik ölçüm istasyonu kurulumu planlanmıştır. Ulaşım, yaşam tehlikesi, önceki çığlar, coğrafi yapı, kar şartları, ekonomik şartlar ve güvenlik nedenleri göz önünde bulundurulduğunda proje pilot alanı olarak İzmir İli içerisinde bulunan Bozdağ kayak merkezi seçilmiştir.

PROJE ALANI VE YAPILAN ÇALIŞMALAR



Çığ başlangıç bölgesinde kırılma

Bozdağ zirve kotu 2159 m olup kuzeye bakan yamaçlarda kar saçaklanmalarına rastlanmaktadır. Şekil de Bozdağ üst kotlarında kuzey yamaçta oluşan kar saçaklanması ve bir tabakanın kırılma çizgisi görülmektedir.

Meteorolojik koşulların olgunlaşması ile birlikte bu saçaklanmalar bazen çığı tetiklemekte ve kayakçılar için tehlikeli durumlar oluşturabilmektedir.



Çığ sonrası kayak merkezine ait telesiyej direklerinin durumu

2012/2013 kış mevsiminde çığ düşmesi sonucu Bozdağ kayak merkezinde bulunan pistler ve telesiyej zarar görünce kapatılmış, onarım için gerekli çalışmalar yapılamayınca 2014 ve 2015 yılı kış mevsimi işletmeye açılmamıştır. Çığ sonucunda zarar gören telesiyej direklerinden birisi Şekil de görülmektedir.

PROJE ALANI VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kar profili çıkarılması, çığ riskinin belirlenmesi amacıyla muhtemel çığ tehlikesi bulunan araziden belirli aralıklarla elde edilen ve dönemsel değişimlerin kar örtüsü içerisindeki tabaka yapısına olan etkilerinin incelendiği bir arazi çalışmasıdır.

Kar profili sayesinde kar örtüsü içerisindeki fiziksel değişimler, meteorolojik faktörler dikkate alınarak değerlendirilir ve muhtemel kayma bölgeleri tespit edilmeye çalışılır.

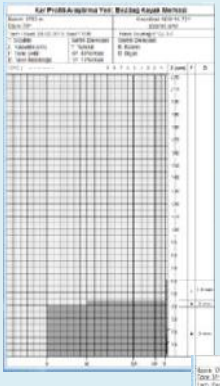
Bir kar profilinde genel olarak;

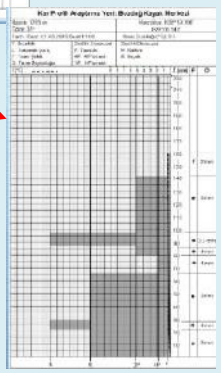
- kar derinliği, katmanlar, tane yapısı, büyüklüğü ve sertliği,
- su içeriği özelliği (kuru, nemli, vb.)
- kar sıcaklığı, kar yoğunluğu,
- katmanların mukavemet özellikleri, kırılma analizi,
- kırılma sırasındaki davranış biçimi gibi özellikler ile

hava şartları ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

PROJE ALANI VE YAPILAN ÇALIŞMALAR









Profil çukuru

VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Aynı kotlarda fakat farklı bakılardaki profiller oldukça farklı çıkmıştır. Tane şekli ve büyüklüğünü dikkate alarak tabakalar arasındaki göreceli mukavemetin değişimi çığa uygun koşulları belirlemektedir.

- Profil-1 ve Profil-2'den görüleceği üzere çığa uygun koşullar Profil-2'de gözlenirken, Profil-1'de böyle bir tehlike bulunmamaktadır. Bozdağ'da daha önceki yıllarda oluşan çığların tamamının kuzey yamaçlarda oluşmasının nedeni de budur.

- Çığı oluşturan nedenler zamansal ve mekânsal açıdan dar alanlarda bile büyük değişimler göstermektedir. Çığ koşullarını yakalayabilmek için aynı bölgede mekânsal ve zamansal değişimi dikkate alacak şekilde çok sayıda profil alınmalıdır. Ülkemizde çığ ile ilgili tahmin çalışmalarının yapılabilmesi için profil alma sayısının arttırılması ve düzenli olarak yapılması gerekmektedir.

VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Otomatik çığ istasyonu Bozdağ üst kotlarında uygun yer seçimi yapılarak kurulmuştur. İstasyonun uygun yer seçimine bakı, yükseklik, saçaklanma durumu, rüzgar, zemin durumu ve çığ olma riskleri göz önünde bulundurularak karar verilmiştir.

- Veriler kablosuz bir şekilde Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde kurulan sunucuya aktarılmaktadır. Verilerin masaüstü bilgisayar ortamına aktarılması için bir yazılım kullanılmaktadır.

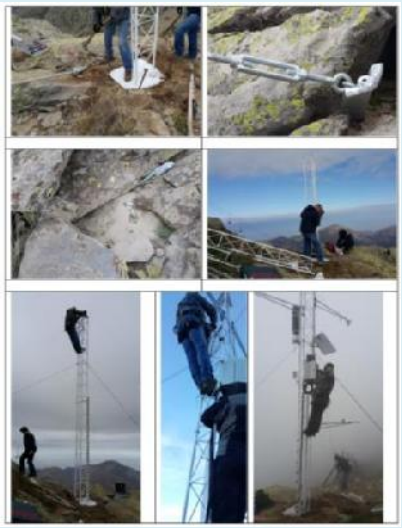
- İstasyonda bulunan sensörler den elde edilen verilerden 5 saniyelik ölçümlerin ortalaması 10 dakikalık periyodlarla kayıt edilmiştir. Böylelikle bazı verilerin anlık değişkenliğinden meydana gelebilecek hatalı sonuçların önüne geçilmiştir. Örneğin rüzgâr yönünde anlık değişimler olabilmektedir. Bu nedenle 10 dakikalık periyod içerisinde alınan verilerin ortalaması en doğru rüzgâr yönünü verecektir.

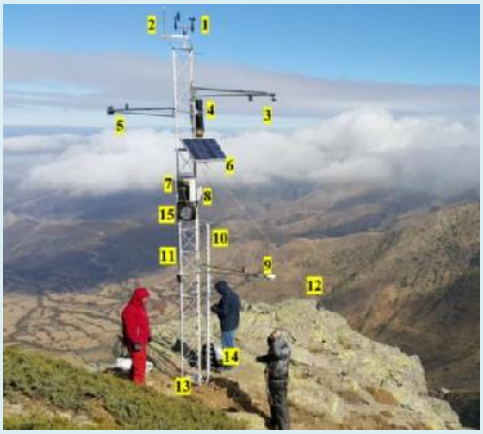
VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Otomatik Çığ İstasyonu Bileşenleri:

- 1.Anemometre (Rüzgar hızı ölçer) ve Rüzgar yönü ölçer
- 2.Yıldırım koruma (paratoner)
- 3.Kar yüksekliği ölçüm sensörü
- 4.Sıvı yağış ölçer ve yağmur ölçer
- 5.Yüzey sıcaklık sensörü
- 6.Güneş paneli
- 7.Kontrol paneli (akü, data logger, veri depolama kartları vb.)
- 8.Hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer
- 9. Gelen ve Yansıyan Radyasyon (albedo) ölçer
- 10.Manuel eşel
- 11.İstasyon ana taşıyıcı kafes sistem
- 12.Gergi halatları
- 13. Paratoner topraklama bağlantısı
- 14. 8 adet kar sıcaklığı ölçüm sensörleri
- 15.Veri kabloları

ÇIĞ VERİLERİIN TOPLANMASI





Şekil. Otomatik çığ istasyonu kurulumu ve bileşenleri

SONUÇ ve ÖNERİLER

- Türkiye'de çığ afeti ile yerleşim birimlerinde sık sık karşı karşıya kalınmadığı için hem kurumsal hem de toplumsal açıdan çığa karşı önlem bilinci henüz yeterli düzeyde değildir.
- Türkiye'de çığ analizine yönelik veriler mevcut değildir. Halbuki Avrupa'da çığ ile ilgili oldukça deneyime sahip ülkeler halen çığ verilerini yeni istasyonlar ve yeni teknolojilerle arttırmakta ve ortak veri havuzundan faydalanmaktadırlar.
- Türkiye'de bir pilot bölgede çığ otomatik gözlem istasyon kurulması ve verilerin otomatik olarak aktarılması
- Çığ oluşumunu etkileyen meteorolojik parametrelerin Türkiye şartlarında belirlenmesi
- Pilot bölgede yapılacak çalışma sonucunda elde edilecek sonuçların proje kapsamı dışındaki bölgeler içinde kullanılabilirliğinin tartışılması

SONUÇ ve ÖNERİLER

- Arazi çalışması sonucunda elde edilen kar profil sonuçlarının otomatik istasyon verileri ile ilişkisinin belirlenmesi
- Toplumsal ve kurumsal farkındalığın yaratılarak özellikle kamu kurumlarının teknik birimlerinde (örneğin meteoroloji, karayolları, demiryolları, enerji nakil hatları, özel idare, kayak merkezi planlaması, belediyeler vb.) çığa karşı önlem bilincinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Bu çalışmada bahsedilen proje vesilesi ile ilgili kurumlarda toplantılar düzenlenerek yöneticiler ve özellikle teknik personelin çığa karşı önlem bilinci ve çığ zararlarının azaltılması konularında bilgilendirme çalışmaları yapılacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu nedenle ulusal çığ verilerinin toplanmasına öncülük etmesi hedeflenerek kurulan otomatik çığ istasyonundan elde edilen kazanımlar ilgili kurumlar ile paylaşılacaktır. İstasyonun kurulumundan işletilmesine kadar birçok aşamada kaydedilen sorunlar ve çözüm önerileri araştırma projesi sonunda hazırlanacak raporda ele alınacaktır. Böylece ulusal çığ çalışmalarına yüksek oranda katkıda bulunacağı düşünülen zirveye yakın kotlardan elde edilmiş çığa özgü meteorolojik ve kar verileri daha sağlıklı değerlendirilebilecektir. Çünkü çığ ile ilgili yapılacak her tür çalışmada bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Çığ afetinin önceden tahmin edilmesi, önlenmesi veya zararlarının azaltılması mümkündür. Bu nedenle kar ve çığdan korunma ve zararların azaltılması amaçlı ulusal çalışmaların genişletilerek devam ettirilmesi gerekmektedir.

Konu ile ilgili akademik çalışmalara devam edilmektedir. Bununla birlikte, sürdürülebilir bir çığ yönetimi için bir kurumsal bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yapı ile veri toplama, toplanan verilerin analizi, bir çığ tahmin modelinin geliştirilmesi, çığa karşı koruma yöntemlerinin uygulanması, risk planlanması, araştırma ve yeniliklerin takibi gibi oldukça önemli konular birlikte değerlendirilebilecek ve başarı sağlanacaktır.

TEŞEKKÜRLER

SUNUM 4

TÜRKİYE'DE ÇIĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ - 24 EKİM 2017

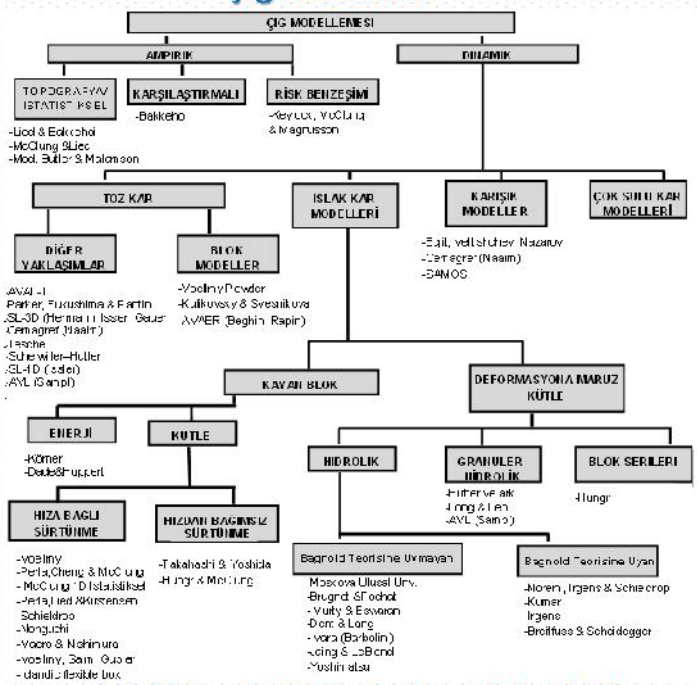
Proje Çalıştayı
TÜRKİYE'DE ÇIĞ ARAŞTIRMALARI

'Çığlarının Dinamik Modellemesi - RAMMS'

Sunan: Erhan DEMİR (24.10.2017)

Bu çalışmada kullanılan RAMMS programı kullanım hakkı TÜBİTAK tarafından desteklenen 114M311 nolu proje kapsamında alınmıştır. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Çığ Modelleri



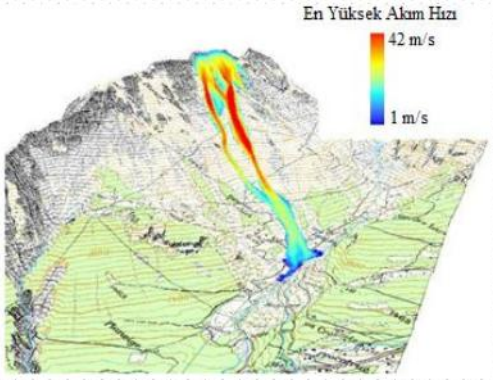
Şekil: Çığ Benzeşim Model sınıflandırması (Bacher, 2007)

RAMMS (Rapid Mass Movements)

❖ İsviçre merkezli Kar ve Çığ Araştırma Enstitüsü
(Institut für Schnee und Lawinenforschung-SLF)
&
İsviçre Orman, Kar ve Arazi Araştırma Federal Enstitüsü
(Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft-WSL)

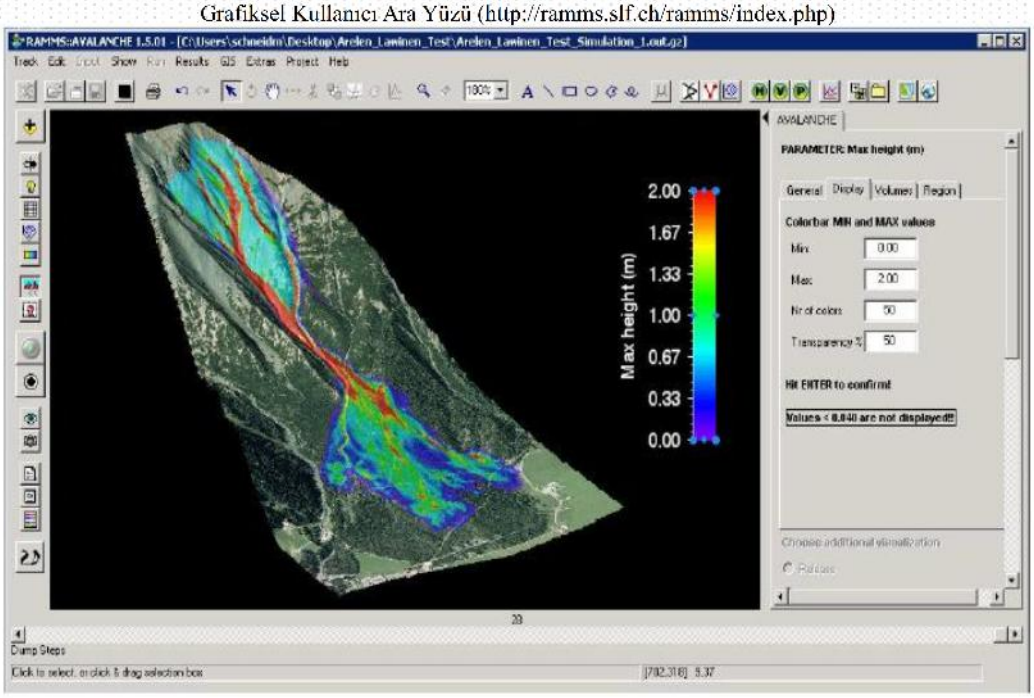
❖ Donanımsal gereksinim;

- İşletim Sistemi: Windows XP (32-bit) veya Windows 7 (64-bit),
- RAM Kapasitesi: 2 GB,
- İşlemci Kapasitesi: Intel Pentium 1 GHz (çift çekirdekli),
- Bellek Kapasitesi: 200 MB olarak verilmektedir.



RAMMS (Rapid Mass Movements)

Grafiksel Kullanıcı Ara Yüzü (http://ramms.slf.ch/ramms/index.php)



RAMMS (Rapid Mass Movements)

Programda Kullanılan Sürtünme Modeli

RAMMS, Voellmy-Salm yaklaşımını temel alan Voellmy Akışkan Sürtünme Modelini (Voellmy-Fluid Friction Model) kullanmaktadır. Bu model sürtünme direncini, Kuru-Coulomb tipi (Dry-Coulomb Type Friction) sürtünme (μ) ve viskoz türbülans (viscous-turbulent friction veya velocity-squared drag) sürtünmesi (ξ) olarak iki parçaya ayırmaktadır.

Sürtünme direnci S (Pa);

$$S = \mu \rho H g Cos(\phi) + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

olarak alınmakta olup burada;

g: Yerçekimi ivmesi,

ϕ: Eğim açısı,

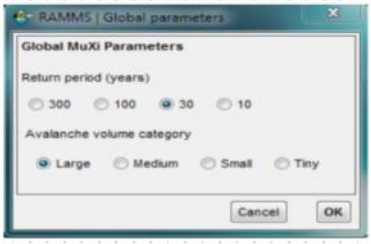
H: Akım derinliği

U: Akım Hızı

RAMMS (Rapid Mass Movements)

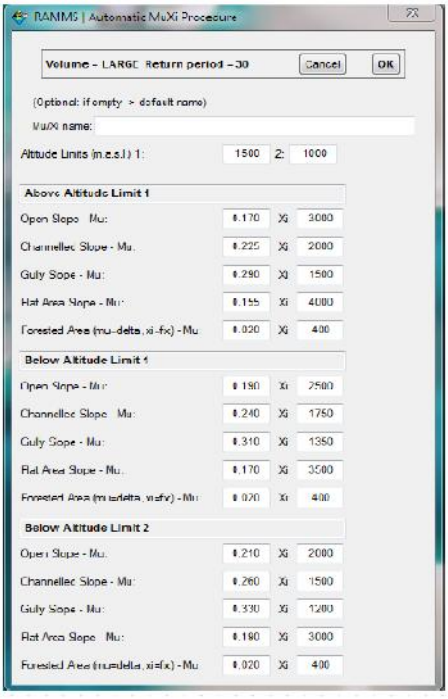
Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler

- **Sürtünme Parametreleri (μ ve ξ)**
- **Global Parametreler**
- **Orman Örtü Bilgisi**



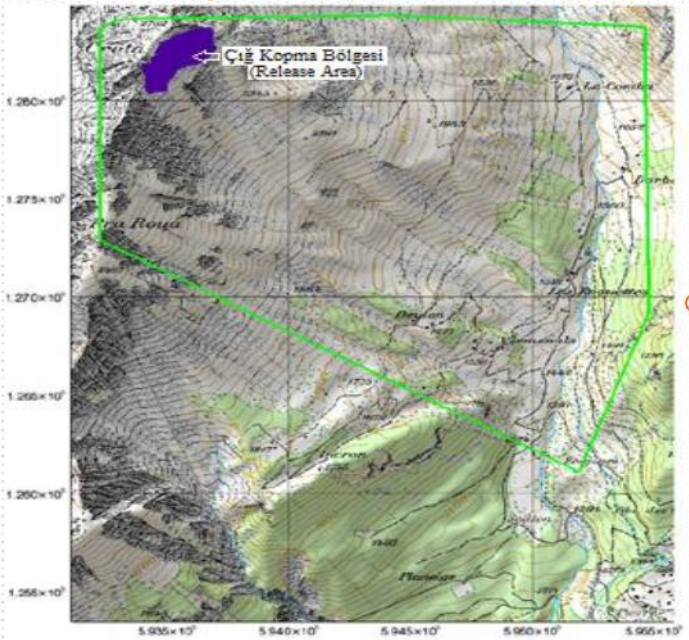
Hacimlerine göre çığ sınıfları

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

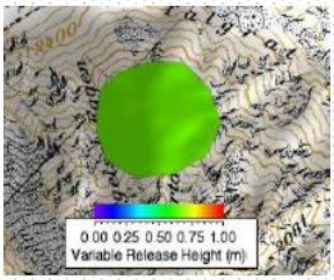


RAMMS (Rapid Mass Movements)

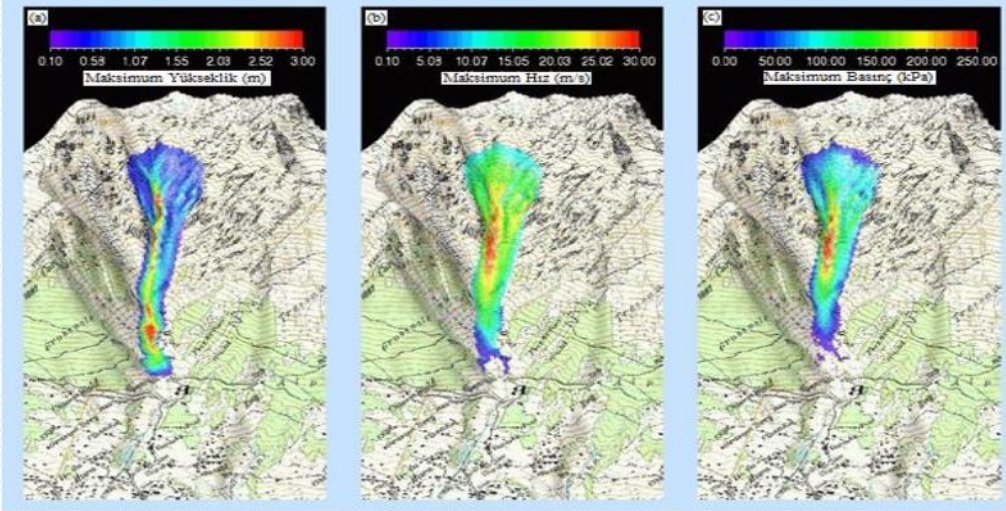
Hesap Etki Alanı (Calculation Domain)



Çığ Kopma Bölgesi(Release Area)

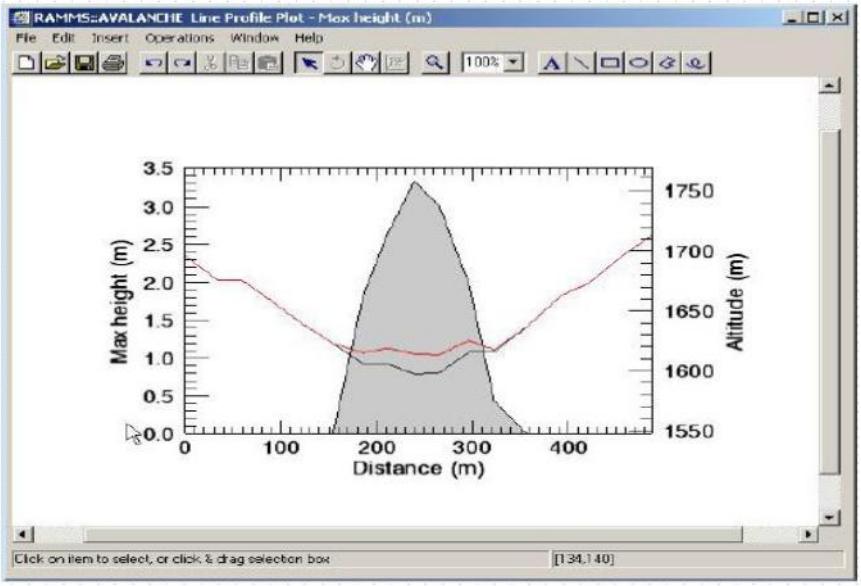


RAMMS (Rapid Mass Movements)



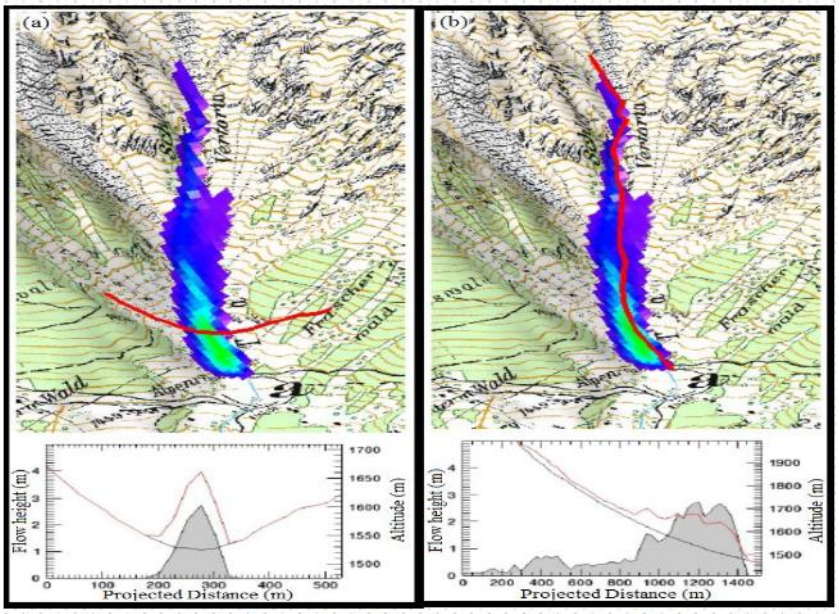
Örnek Sonuçlar: (a) Maksimum akım derinlik (yükseklik) değerleri, (b) Maksimum akım hızları, (c) Maksimum basınç değerleri (RAMMS Avalanche Manual)

RAMMS (Rapid Mass Movements)



Belirli bir hat için oluşturulmuş profil çıktısı örneği (RAMMS Avalanche Manual)

RAMMS (Rapid Mass Movements)



Akıma dik çizgi profili çıktısı örneği (b) Çığ güzergahı boyunca çizgi profili çıktısı örneği (RAMMS Avalanche Manual)

Bozdağ (Proje Alanı)



Bozdağ Kayak Merkezi



Çığ sebebiyle eğrilen kar direği



Parçalanan çığ önlem yapıları



Zirve bölgesinde karşılaşılan olumsuz hava şartları

Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (Bozdağ)



İstasyonun kurulum aşamaları

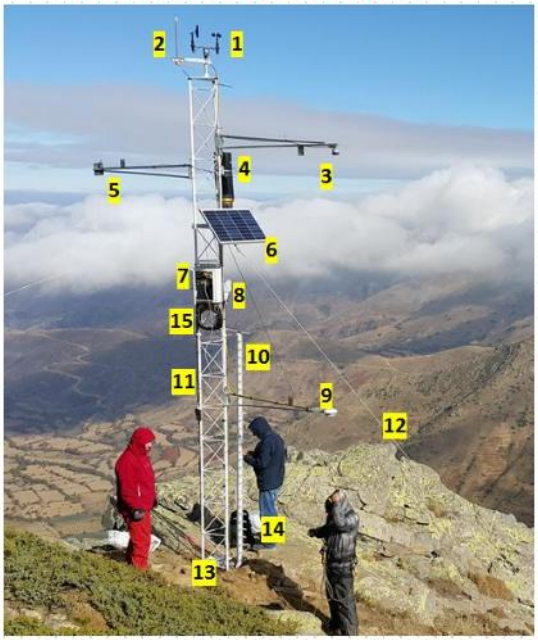




Çığ araştırma çalışmalarında kullanılmak üzere gerekli parametreleri ölçerek depolayacak ve merkeze gönderecek olan istasyon Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu.

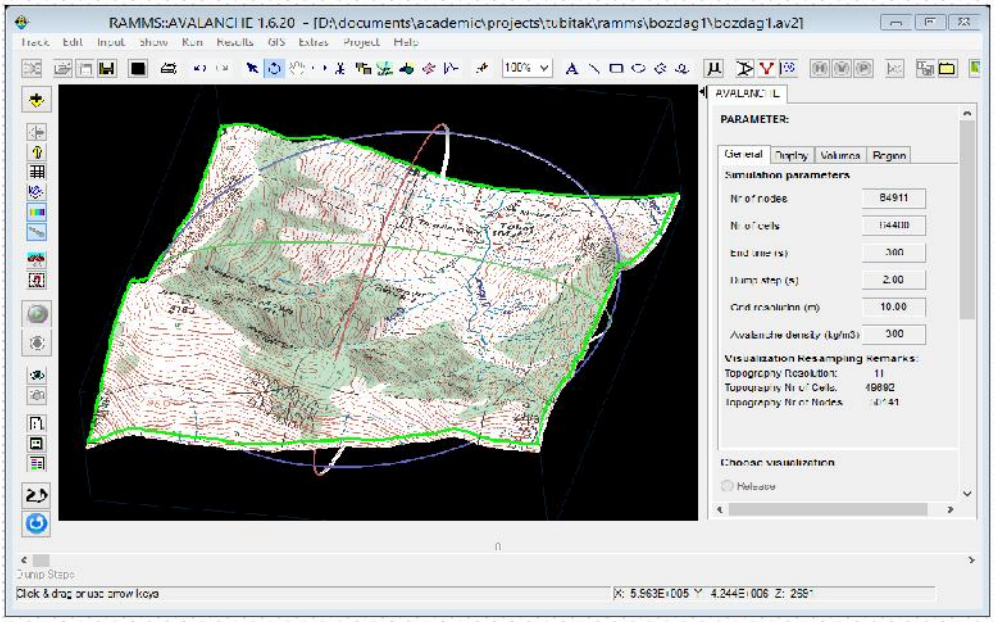
Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (Bozdağ)

Otomatik Çığ İstasyonu ve bileşenleri;



1. Anemometre (Rüzgar hızı ölçer) ve Rüzgar yönü ölçer
2. Yıldırım koruma (paratoner)
3. Kar yüksekliği ölçüm sensörü
4. Sıvı yağış ölçer ve yağmur ölçer
5. Yüzey sıcaklık sensörü
6. Güneş paneli
7. Kontrol paneli (akü, data logger, veri depolama kartları vb.)
8. Hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçer
9. Gelen ve Yansıyan Radyasyon (albedo) ölçer
10. Manuel eşel
11. İstasyon ana taşıyıcı kafes sistem
12. Gergi halatları
13. Paratoner topraklama bağlantısı
14. 8 adet kar sıcaklığı ölçüm sensörleri
15. Veri kabloları

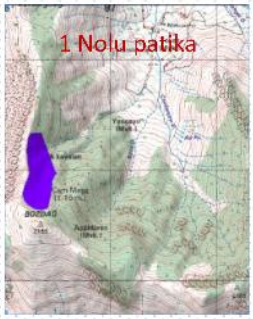
RAMMS
(Bozdağ Örneği)



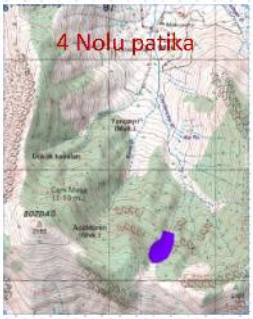
RAMMS
(Bozdağ Örneği)

- Arazi ve ofis (harita) çalışmaları sonucunda elde edilen bilgiler ışığında RAMMS üzerinde 12 adet çığ bağlangıç bölgesi seçilmiştir.

- Çığ başlangıç bölgeleri ileride yapılacak yeni değerlendirmeler sonucunda oluşacak (örneğin arazi çalışması değerlendirmesi) yeni bilgiler ile yeniden düzenlenebilir. Gerçekleşecek çığın arazide fiziksel boyutlarının ölçülmesi çığ başlangıç bölgeleri tespitinin doğruluğunu artırmak için gereklidir. Bu nedenle gelecek dönemlerde pilot bölgede çığ olması durumunda yapılacak gözlemler son derece önemlidir.







RAMMS
(Bozdağ Örneği)

Çalışılan 12 adet çığ başlangıç bölgesinde çığ kopma derinliği 1 m olması durumunda başlangıç bölgesinin hacmi, kütlesi ve büyüklük sınıflandırması aşağıda verilmektedir. Çığın yoğunluğu 300 kg/m^3 alınmıştır.

Çığ Sınıflaması	Çığ Hacimi (m^3)
Büyük hacimli çığ	> 60000
Orta hacimli çığ	25000 - 60000
Küçük hacimli çığ	5 - 25000
Çok küçük hacimli çığ	< 5000

Çığ patikası adı	Kopan hacim (m^3)	Kopan kütle (t)	Büyüklük sınıfı
1	174400	52320	Orta
2	204469	61341	Büyük
3	39832	11950	Küçük
4	53675	16103	Küçük
5	86378	25914	Orta
6	69910	20973	Küçük
7	27281	8184	Küçük
8	22028	6608	Küçük
9	30094	9028	Küçük
10	26105	7832	Küçük
11	38069	11420	Küçük
12	33087	9926	Küçük

RAMMS
(Bozdağ Örneği)

Sürtünme parametrelerinin değişiminde 1500 m'nin üstü, 1000 m – 1500 m arası ve 1000 m'nin altı olmak üzere 3 aralık belirlenmiştir.

Arazi eğiminde ise sınırları açık eğim, kanallaşmış eğim, V şekilli eğim, düz alan eğimi ve ormanlık alan olmak üzere 5 farklı türde sürtünme katsayısı seçilmiştir.

100 yıllık tekrarlama periyodu için sürtünme katsayıları

	Yükseklik					
Çığ büyüklüğü	> 1500 m		1000 – 1500 m		> 1000 m	
Büyük hacimli çığ (> 60000 m³)	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ
Sınırları açık eğim	0.165	3000	0.18	2500	0.2	2000
Kanallaşmış eğim	0.22	2000	0.23	1750	0.25	1500
V şekilli eğim	0.28	1500	0.3	1350	0.315	1200
Düz alan eğimi	0.15	4000	0.16	3500	0.18	3000
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400
Orta hacimli çığ (25 - 60000 m³)						
Sınırları açık eğim	0.205	2500	0.22	2100	0.24	1750
Kanallaşmış eğim	0.26	1750	0.28	1580	0.29	1450
V şekilli eğim	0.33	1350	0.34	1200	0.37	1100
Düz alan eğimi	0.18	3250	0.2	2900	0.22	2500
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400
Küçük hacimli çığ (5 - 25000 m³)						
Sınırları açık eğim	0.245	2000	0.26	1750	0.275	1500
Kanallaşmış eğim	0.29	1500	0.31	1350	0.32	1200
V şekilli eğim	0.38	1200	0.39	1100	0.41	1000
Düz alan eğimi	0.225	2500	0.24	2250	0.255	2000
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400
Minik hacimli çığ (5000 m³)						
Sınırları açık eğim	0.28	1500	0.295	1400	0.31	1250
Kanallaşmış eğim	0.32	1250	0.34	1180	0.35	1050
V şekilli eğim	0.43	1050	0.44	1000	0.45	900
Düz alan eğimi	0.265	1750	0.275	1600	0.285	1500
Ormanlık alan	0.02	400	0.02	400	0.02	400

RAMMS
(Bozdağ Örneği)

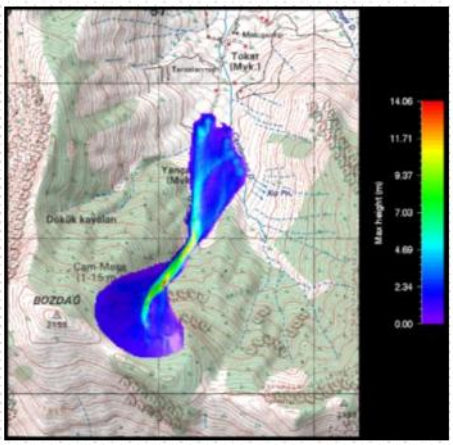
- Çığ dinamik modellemesi için karelaj çözünürlüğü 10 m, çığın yoğunluğu 300 kg/m^3, çığ akma süresi 300 saniye, çığ kopma derinliği 1 m alınarak analizler yapılmıştır.

- Analizlerde sürtünme parametreleri için iki yöntem kullanılmıştır. Birinci durumda ξ = 2000 m/s^2, μ=0.2, kohezyon=0 olarak sabit değerler seçilmiştir. İkinci durumda ise değişken sürtünme parametreleri için 100 yıllık tekrarlama süresi, çığın hacmi, yükseklik ve arazi şekline göre değişken parametreler uygulanmıştır.

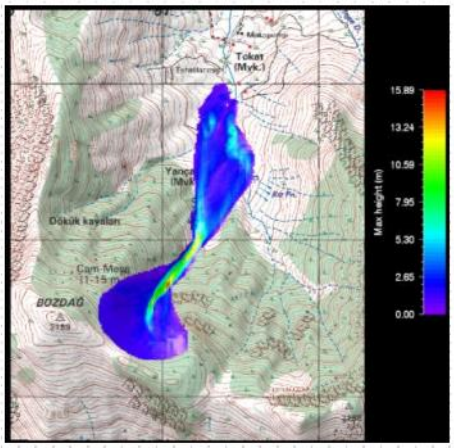
- Modelleme sonucunda patikadaki maksimum kar yüksekliği, maksimum çığ hızı, maksimum çığ basıncı hesaplanmıştır.

RAMMS
(Bozdağ Örneği)

2 No'lu çığ patikası için maksimum çığ yüksekliği



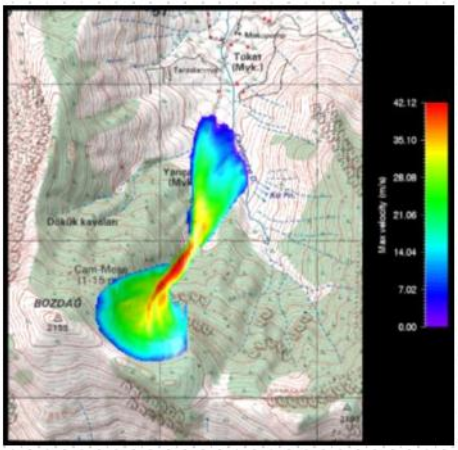
a. Maksimum çığ yüksekliği (sabit μ, ξ)



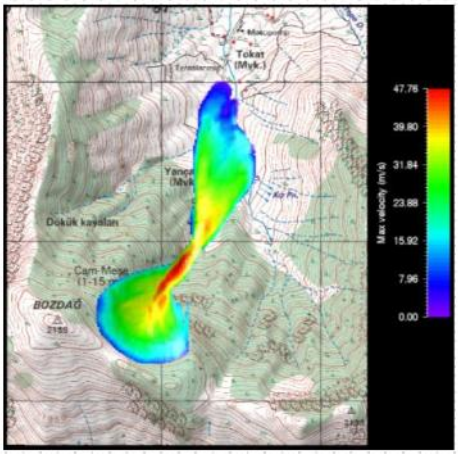
b. Maksimum çığ yüksekliği (değişken μ, ξ)

RAMMS
(Bozdağ Örneği)

2 No'lu çığ patikası için maksimum çığ hızı



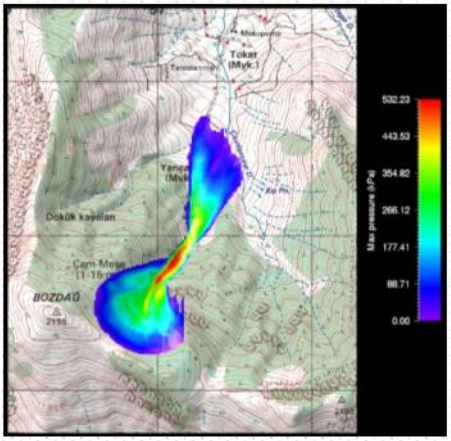
c. Maksimum çığ hızı (sabit μ, ξ)



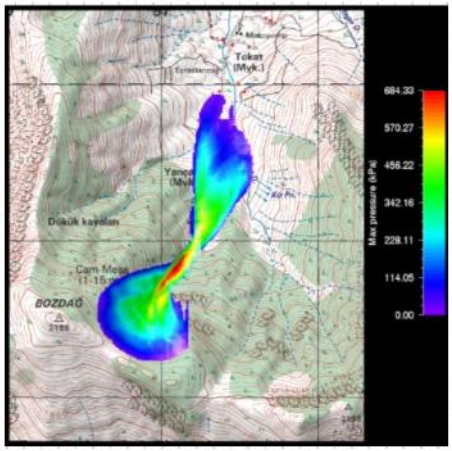
d. Maksimum çığ hızı (değişken μ, ξ)

RAMMS
(Bozdağ Örneği)

2 No'lu çığ patikası için maksimum çığ basıncı



e. Maksimum çığ basıncı (sabit μ, ξ)



f. Maksimum çığ basıncı (değişken μ, ξ)

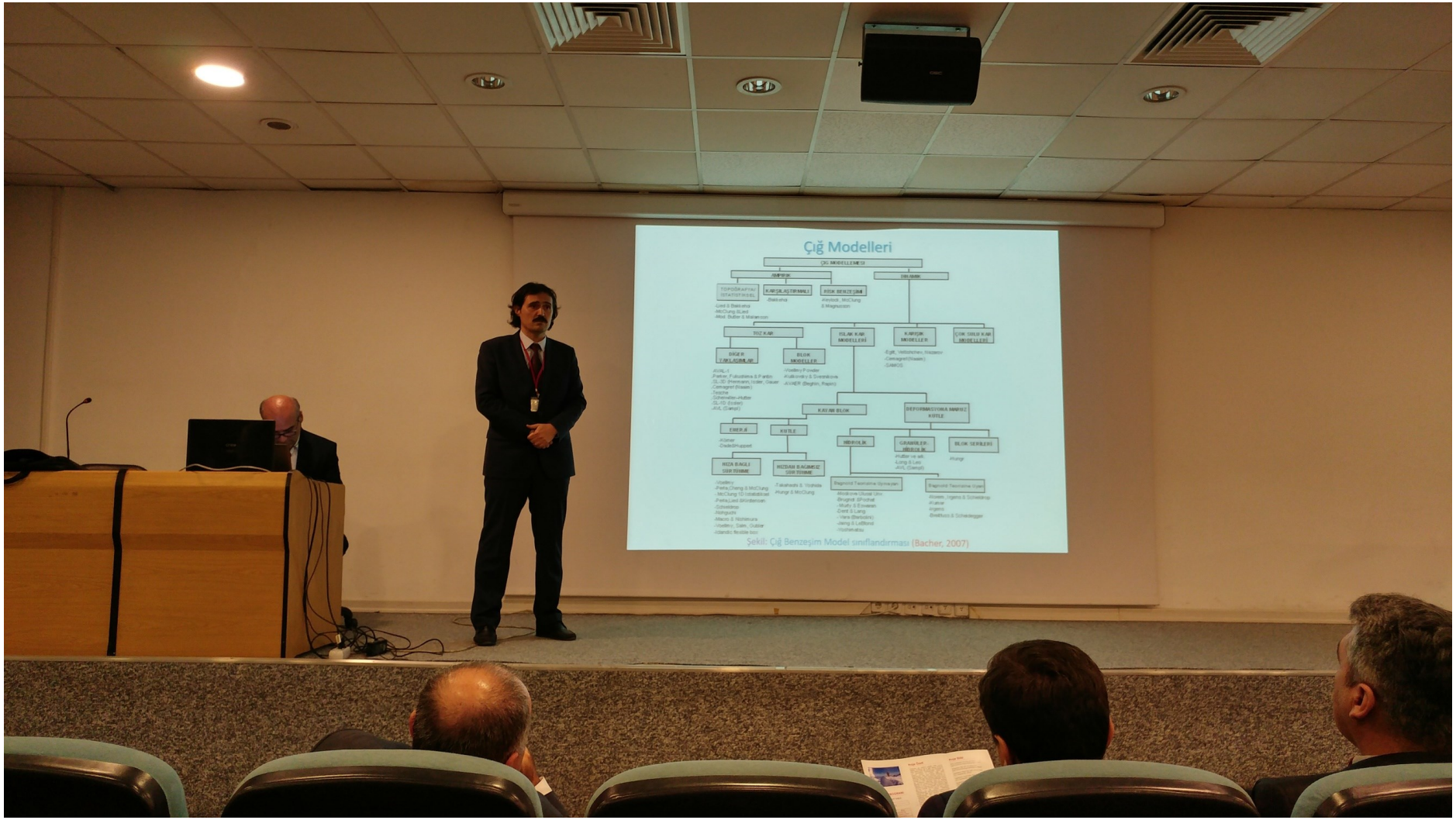
Dinlediğiniz
için
teşekkür ederim.

ÇALIŞTAYDAN KARELER


TÜRKİYE'DE ÇİĞ ÇALIŞMALARI SEMPOZYUMU
GAZİ ÜNV. MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ - 26 EKİM 2017
UYGULAMA ALANI-İZMİR-BOZDAĞ (2159 m)


Gazi Üniversitesi – TUBİTAK (114M311)
Türkiye'de Çığ Araştırmaları Çalıştayı
24 Ekim 2017
İstatistiksel Olarak Durma Mesafesi Tahmin Çalışması
Öğr. Gör. Dr. Erhan Tekin
Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
etekin@gazi.edu.tr


Türkiye'de Çığ Çalışmaları Çalıştayı 2017
ÇIĞ GÖZLEMİ VE ÇIĞA ÖZGÜ VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (*)
İNŞ. YÜK. MÜH. GÖKHAN ARSLAN
AFET VE ACİL DURUM YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI, AFAD
(*) Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 114M311 nolu proje kapsamında desteklenmektedir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.


Çiğ Modelleri
Şekil: Çiğ Benzeşim Model sınıflandırması (Bacher, 2007)







TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. ÖNDER KOÇYİĞİT
Proje No:	114M311
Proje Başlığı:	Çığ Verilerinin Toplanması, Çığın Dinamik Ve İstatistiksel Modellemesi Ve Durma Mesafesi Uygulaması; Bozdağ Örneği
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	ABDULLAH CEYLAN, MEHMET COŞKUN, ERHAN TEKİN, YUSUF ULUPINAR, GÖKHAN ARSLAN
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	GAZİ Ü. MÜHENDİSLİK F. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/11/2014 - 01/11/2017
Onaylanan Bütçe:	381850.0
Harcanan Bütçe:	311110.72
Öz:	Kar çığları dağlık bölgelerdeki insan yaşamını tehdit etmekte ve ulaşım şartlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bir doğal afet olarak çığ, Avrupa Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Kanada, Japonya, Hindistan gibi Dünyanın birçok ülkesinde görülmektedir. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %67?sinin 800 metreden daha yüksek dağlık arazide yer aldığı düşünüldüğünde, ülkemizin ne kadar kar ve çığ ile mücadele etmek zorunda olduğu açıktır. Çığ bir afet olarak birçok insanın hayatına ve maddi zararlara neden olmaktadır. Örneğin sadece 1992 kış mevsiminde ülkemizde meydana gelen çığlar neticesinde, 300?den fazla insanın hayatına ve çok büyük maddi kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle 1992 kışından hemen sonra ülkemizde çığ zararlarını azaltma amaçlı projeler ve akademik çalışmalar başlatılmıştır. Hâlbuki bu konu ile ilgili Avrupa?daki çalışmalar 1950?li yıllarda başlatılmıştır. Hem çığ tahmininde hem de çığ modellemesi amaçlı kullanılabilecek, ülkemize ait çığ verilerinin elde edilmesi ile ilgili bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır. Çığ verileri, çığ başlama bölgesinden alınması gereken özel kar verileridir. Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte bu tür verilerin elde edilmesi ve verilerin saklanması kolay, sonuçları güvenilir ve kullanımı kolay olmaktadır. Bu projede öncelikle çığ verilerinin bir pilot alan için toplanması, düzenlenmesi ve son olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Buna yönelik olarak bir otomatik çığ istasyonu kurulmuştur. Pilot bölge olarak İzmir yakınlarında bulunan Bozdağ kayak merkezi seçilmiştir. İsviçre Çığ Araştırma Merkezi (SLF) tarafından geliştirilmiş RAMMS isimli sayısal model kullanılarak çığ hattı boyunca hız, basınç ve çığ yüksekliği değerleri belirlenmiştir. Ayrıca durma mesafesinin hesaplanması amacıyla istatistiksel yöntemler değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda pilot bölge için elde edilen sonuçlar diğer bölgelere de uygulanabilecektir. Çığ dinamik model sonuçları sayesinde çığ tehlikesi ile karşı karşıya kalan alanların tehlike sınırları içerisinde olup olmadığı, yeni yerleşim alanlarının planlanması, kayak merkezlerinin planlanması, çığ bariyerlerinin ve çığ barajlarının projelendirilmesi, ulaşım projelerinin hat seçimleri, çığ tünellerinin yer tespiti ve tasarımında kullanılabilecektir.
Anahtar Kelimeler:	Çığ, Modelleme, Otomatik istasyon, kar, stabilite, Bozdağ
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

TÜBİTAK

Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Avalanche Research Studies at Bozdağ (Makale - Diğer Hakemli Makale), 2- NUMERICAL MODEL APPLICATION ON SNOW AVALANCHE IN TURKEY (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum), 3- Çığ Verilerinin Toplanması, Çığın Dinamik ve İstatiksel Modellemesi ve Durma Mesafesi Uygulaması (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum), 4- Çığ Tahmininde Kar Profili Analizi: Bozdağ Örneği (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum), 5- RECENT DEVELOPMENTS OF AVALANCHE RESEARCH IN TURKEY (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 6- ULUSAL ÇIĞ ÇALIŞMALARINA AKADEMİK KATKI (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 7- Proje Teşvik Ödülü (Ödül - Ulusal Ödül - Üniversite, Kurum veya Kuruluşların Verdiği Ödüller),

TÜBİTAK