

# CBS TABANLI ÇIĞ ANALİZİ: RİZE-YUKARI KAVRON YAYLASI ÖRNEĞİ

Abdurrahim Aydın<sup>1)</sup> ve Remzi Eker<sup>2\*)</sup>

<sup>1)</sup> Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, 81620 Düzce-Türkiye, e-mail: [aaydin@duzce.edu.tr](mailto:aaydin@duzce.edu.tr)  
<sup>2)</sup> Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, 81620 Düzce- Türkiye, e-mail: [remziaker@duzce.edu.tr](mailto:remziaker@duzce.edu.tr)

\* Sorumlu Yazar

## ÖZET

*Yukarı Kavron Yaylası (Rize-Çamlıhemşin) çığlardan kaynaklı ciddi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Alanda yerel bilgi kaynaklarına göre 1986-1987 yılı kış mevsiminde meydana gelen çığ olayı ile 2006-2007 yılı kış mevsiminde meydana gelen çığ olayı yakın tarihte bilinen etkili çığ olaylarıdır. Meydana gelen çığlardan ilkinde 20 ev, ikincisinde ise 40 ev yıkılmış ve çığ karşı yamaca doğru ilerleyerek buradaki evlere de zarar vermiştir. Yerel halk çığların zararlarından korunmak amaçlı kendi imkânlarıyla evleri yamaca gömülü inşa, çığ gelen cepheleri taş duvarla örerek tahkim etme ve karşı yamaçta bulunan evlerde ise camların tahta kapak ile kapatılması şeklinde etkinlikleri şüpheli pasif önlemler almıştır. Çığların bu zararlarından dolayı tehlike/risk haritalama ve koruyucu teknik yapıların tasarımı gibi çalışmaların yapılması gerekli olmaktadır. Bu çalışmalar çığların akma ve birikme sınırları ile çığın hızı, etki basıncı, akış yüksekliği gibi çığ dinamiklerinin belirlenmesini gerektirdiğinden çığ simülasyon yazılımlarıyla yapılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegre iki boyutlu çığ simülasyon yazılımı ELBA+, bu amaçla kullanılan yazılımlardan biridir. Yazılım Voellmy modeli tabanlı çalıştığından iki sürtünme parametresinin (yer sürtünme, Coulomb,  $\mu$  ve iç sürtünme, Türbülans,  $\zeta$ ) bilinmesini gerektirmektedir. Yukarı Kavron çığ alanında potansiyel olarak 7 adet başlama bölgesi bulunmaktadır. Başlama bölgelerinden tüm yaylayı etkileyen (A1 şeklinde kodlanmıştır) çığ yolu için ELBA+ yazılımı ile 100 yıl tekrerrir aralığında simülasyon çalışması yapılmıştır. Diğer 6 başlama bölgesi (B1-B6 şeklinde kodlanmıştır) ise artık risk unsuru olarak değerlendirilmiştir. 2006-2007 yılında meydana gelen çığ olayının geri-hesaplaması (back-calculation) pek çok senaryo ile değerlendirilerek sürtünme parametreleri kalibre edilmiştir. Geri-hesaplama sonucunda yer sürtünme parametresi ( $\mu$ ), başlama bölgesinde 0.27, akma bölgesinde 0.165 ve birikme bölgesinde 0.33 olarak belirlenmiştir. İç sürtünme ( $\zeta$ ) katsayısı ise hareket anında çığın akış yüksekliği ve pürüzlülük uzunluğunun bir fonksiyonu olarak yazılım tarafından hesaplanmaktadır. Yapılan simülasyonun sonucuna göre çığ kütlelerinin hacmi 80480 m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Çığın maksimum 40 m/s'i (maksimum 41 m/s) aşarken, etki basıncı 500 kPa'ı aşmaktadır. Elde edilen sonuçların 2006-2007 yılında meydana gelen çığ ile uyumlu olduğu görülmektedir.*

**Anahtar Sözcükler:** Çığ, ELBA+, Simülasyon, Sürtünme Parametreleri, Yukarı Kavron

## ABSTRACT

### GIS-BASED AVALANCHE ANALYSIS: A CASE OF RIZE-YUKARI KAVRON PLATEAU

*Yukarı Kavron Plateau (Rize-Çamlıhemşin) suffers from crucial problems due to occurrence of snow avalanches. Snow avalanches in living memories which occurred both in winter of 1986-1987 years and in winter of 2006-2007 years are the most effected events in recent history. While 20 buildings were destroyed in first event, 40 buildings were destroyed in the second and also some buildings located over the opposite slope were damaged. Villagers have some measurements whose efficiencies are suspicious to defense their buildings against to avalanches such as: constructing the buildings as embedded in slope, building avalanche side of the building as strong stone wall, and covering the windows of the buildings located over the opposite slope with a wooden material. Hence, it is a requirement that designing and constructing defensive technical structures and hazard/risk mapping for mitigation of adverse results of the avalanches. As a result, it is needed to determine borders and run-out distances of avalanches as well as certain dynamics of avalanche such as maximum velocity, impact pressure, and flow height by using avalanche simulation software. Two dimensional simulation software, Elba+, used for this aim, is one of the software which is integrated with Geographical Information System (GIS). Because the software simulates the avalanches based on the Voellmy model, two friction parameters (Coulomb friction,  $\mu$ , parameter and Turbulence,  $\zeta$ , parameter) must be well-known. There are 7 release zone in Yukarı Kavron avalanche area. One of these release zones (coded as A1) was used for simulation in 100 years scenario because it effects all the village. Other release zones (coded as B1-B6) were evaluated as residual risk factors. Back calculation were made for calibration of friction parameters depending on the avalanche event occurred in 2006 by training lots of scenarios. As a result of back calculation,  $\mu$  parameter was determined as 0.27 in release zone, 0.165 in track, and 0.33 in deposition zone.  $\zeta$  parameter has also been calculated in the simulation progress by the software as a function of flow height of avalanche and roughness length of the motion. The volume of the avalanche mass was calculated as 80480 m<sup>3</sup>. While the maximum velocity of the avalanche was able to be exceeded 40 m/s (max. 41 m/s), the maximum impact pressure was able to be exceeded 500 kPa. It was observed that the simulation results are compatible with the avalanche occurred in 2006.*

**Key words:** Avalanche, ELBA+, Simulation, Friction parameters, Yukarı Kavron

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda çığ tehlike değerlendirme ve koruma önlemleri insan aktivitelerinin yoğun olduğu yüksek dağlık alanlarda önem kazanmaktadır. Bu yüzden etkin ve ekonomik amaçlı bilimsel ve uygulama çalışmaları giderek artış göstermektedir (Fuchs vd., 2004). Hem tehlike/risk haritalama hem de koruyucu teknik yapıların tasarımında çığ sınırlarının belirlenmesi yanı sıra çığın hız, etki basıncı, akış yüksekliği gibi dinamiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çığ dinamiklerinin belirlenmesi ve haritalanması çığ simülasyon yazılımları kullanılarak yapılabilmektedir (Christen vd., 2002, Christen vd., 2010). Geliştirilen modeller çığın hareketini çığ yolu merkez hattı boyunca çığ yolunu küçük bölümler şeklinde kullanan bir boyutlu modellerden çığın akış yüksekliği, yanal genişliği gibi diğer yönler için de hesaplama yapabilen daha kompleks iki boyutlu modellere değişiklik göstermektedir (Jamieson vd., 2008). Basit çığ modelleri 80 yıldan fazladır önemli çığ dinamiklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır (Oremus, 2006). Ancak son yıllarda çığların fiziksel süreçleri hakkında artan bilgi birikimi ile birlikte bilgisayar teknolojilerindeki ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlardaki gelişmeler çığların dinamiklerinin belirlenmesinde sayısal yöntemlerle entegre modellerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bu yazılımlardan biri olan ELBA+ yazılımı CBS entegre iki boyutlu çığ simülasyon yazılımlarından biridir. Yazılım Voellmy modeline dayandığı için Çığ dinamiklerini hesaplamada kullanılan çözümler kar derinliği, arazi eğimi gibi değişkenlerin de içinde bulunduğu pek çok değişkene dayanmakla birlikte kullanıcının müdahale edebildiği ve iklim-topografya açısından kendi içerisinde homojen bir bölge için geçerli olan iki parametrenin bilinmesini gerekli kılmaktadır. Bunlar çığın hareketi üzerinde etkili olan ve ölçülmesi kolay olmayan yer sürtünme (Coulumb friction) parametresi ( $\mu$ ) ve iç sürtünme (türbülans) parametresi ( $\xi$ )'dir. Yer sürtünme parametresi genellikle yükseltiye, kar özelliklerine, çığın tipine ve hacmine bağlıyken, türbülans parametresi genellikle çığ yolunun şekline (yanal olarak sınırlanmış olup olmaması gibi) bağlıdır. Bu katsayılar direkt olarak ölçülemese de durma mesafesi bilinen çığlardan yararlanarak kalibre edilmektedir (Gubler, 1993). ELBA+ çığ simülasyon yazılımında sürtünme parametrelerinden  $\mu$  parametresi kullanıcı tarafından seçilmekte iken  $\xi$  parametresi hareket anında çığın akış yüksekliği ve pürüzlülük uzunluğunun bir fonksiyonu olarak yazılım tarafından hesaplanmaktadır. Parametreleri kalibre edilen dinamik modellerin birikme mesafesi ve akma yüksekliklerinin doğruluk kontrolü gözlemci kayıtları, vejetatif indikatörler veya istatistik yöntemlerle elde edilen birikme mesafeleri ile karşılaştırılmalıdır. Bu şekilde yapılan sürtünme parametrelerinin kalibre edilmesi işlemine geri-hesaplama (back-calculation) denmektedir (Jamieson vd., 2008).

Çalışmanın yapıldığı Rize Çamlıhemşin Yukarı Kavron Yaylası meydana gelen çığlardan kaynaklanan sorunlar ile karşı karşıya kalmaktadır. Yukarı Kavron çığ alanında yerel bilgi kaynaklarına göre 1986-1987 yılı kış mevsiminde meydana gelen çığ, vadi boyunca ilerleyerek vadi tabanında Ayder'e doğru 30-50 m ilerde durmuş ve 20 evin yıkılmasına sebep olmuştur. Yine bu bilgi kaynaklarına göre çığ enkazının yüksekliği yer yer 10 m'yi aşmaktadır. Alanda 2006-2007 yılı kış mevsiminde meydana gelen çığ ise bahsedilen ilk çığdan daha etkili olmuştur. Tüm yayla boyunca etkili olan çığ olayı elde edilen bilgilere göre 40 adet evin yıkılmasına sebep olmuş ve vadi tabanında karşı yamaca doğru ilerleyerek buradaki evlere de zarar vermiştir. Yine bu çığın enkazının çoğu yerde 10 m yüksekliği aştığı anlaşılmaktadır. Alanda bahsedilen bu iki çığ olayı dışında hemen her sene kanal içerisinde kalan ve zaman zaman yayla evlerine zarar da verebilen çığ olaylarının meydana geldiği yerel bilgi kaynaklarıncı ifade edilmektedir. Çığlardan olumsuz etkilenen yerel halk kendi imkânlarıyla etkinlikleri hakkında şüpheler barındıran pasif önlemler alınmıştır. Özellikle yaylada bulunan evlerini yamaca gömülü halde inşa etme (Şekil 1), evlerin çığ gelen cephelerini taş duvarla örerek tahkim etme (Şekil 2) ve karşı yamaçta bulunan evlerin camlarına tahta kapak yapılması (Şekil 3) gibi önlemler sayılabilmektedir.



Şekil 1. Çığ gelen yüzü yamaç seviyesi ile aynı olan yapılar



Şekil 2. Çığ gelen yüzü taş duvarla tahkim edilen yapılar



Şekil 3. Toz kar çığ etkisine karşı pencerelerin tahta kapakla kapatılması

Yukarı Kavron çığ alanında potansiyel olarak yedi adet başlama bölgesi bulunmaktadır. Başlama bölgelerinden tüm yaylayı etkileyen (A1 kod numaralı) çığ yolu bu çalışmada ELBA+ iki boyutlu çığ simülasyon yazılımı kullanılarak simülasyonu yapılmıştır. Diğer altı çığ yolu (B1-B6 kod numaralı) artık risk unsuru olarak kabul edilerek simülasyonlar sonuçları bu bildiriye konu edilmemiştir. 2006-2007 yılında meydana gelen çığın geri-hesaplaması için pek çok senaryo değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları çığın sınırları, hız, etki basıncı ve akış yüksekliği bakımından 100 yıl tekerrür aralığında değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçların 2006-2007 kışında meydana gelen çığ ile uyumlu olduğu görülmektedir.

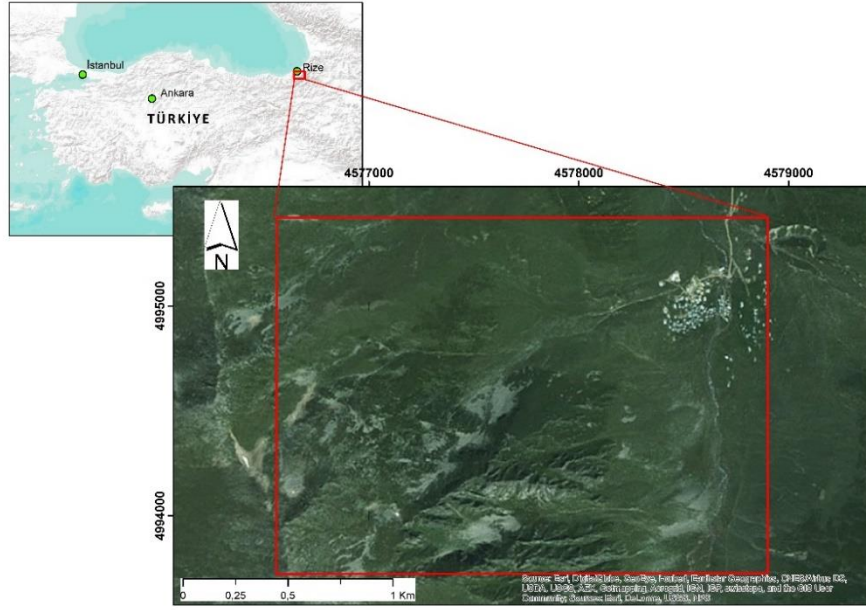
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çığ Yolunun Analizi

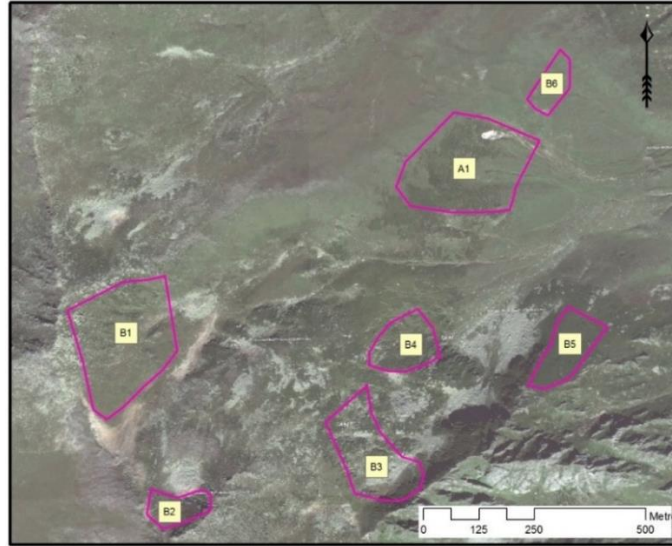
Rize Çamlıhemşin Yukarı Kavron çığ yolunun lokasyon haritası Şekil 4'te verilmektedir. Çığ Tipik bir kanal çığı özelliği taşımamakta ancak serbest yamaç ve yatak çığının karışımı bir akma yüzeyi özelliği gösterdiği de söylenebilmektedir. Çığ yolu kompleks bir yapı göstermemekte ancak boy profili boyunca eğimin azalıp arttığı kısımlar bulunabilmektedir. Çığ yolunda yedi adet potansiyel başlama bölgesi bulunmaktadır (Şekil 5). Başlama bölgelerinin tamamı orman üst sınırının üzerinde yer almaktadır. Dolayısıyla kopmayı engelleyici herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Başlama bölgelerinin hemen altında bulunan ve civar araziye kıyasla bulunan düzlük fazla uzun olmadığı için (55-60 m) çığ hız ve enerjisini düşürmede fazla etkin olamamaktadır. Bu alanın hemen altından itibaren yamaç tekrar dikleşmekte ve çığ yeniden hız ve enerjisini artırarak yerleşim yeri üzerine hareket etmeye devam etmektedir.



## A. Aydın, R. Eker: CBS Tabanlı Çığ Analizi: Rize-Yukarı Kavron Yaylası Örneği



Şekil 4. Yukarı Kavron çığ alanı lokasyon haritası



Şekil 5. Yukarı Kavron çığ alanında belirlenen potansiyel başlama bölgeleri

Başlama bölgelerinin genişliği 95 m ila 290 m arasında değişiklik göstermektedir. Akma zonu ise yer yer 400 m'yi geçmektedir. Başlama bölgesinde eğim değerleri 28°-50° arasında değişmektedir. Çığ yolundaki başlama bölgelerine ait detay bilgileri Çizelge 1'de verilmektedir. Yukarı Kavron yaylasında yıkıcı etki meydana getirme potansiyeli en yüksek başlama bölgesi A1 kodlu başlama bölgesidir. Diğer başlama bölgelerinden kopması muhtemel çığlar daha kısa ve/veya tüm yerleşim yerini etkilemeyecek şekilde daha dar bir alanda etkili olmaktadır. A1 kodlu başlama bölgesinden Kavron yayla evlerinin başladığı noktaya kadar olan çığ yolu ortalama eğimi 27,6°'dir.

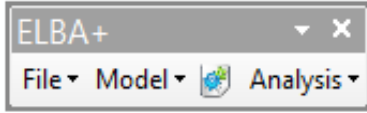
Çizelge 1. Kopma bölgelerinin özellikleri

Kopma Bölgesi No	Yükselti aralığı (m)	Ortalama Yükselti (m)	Ortalama Eğim (°)	Genişliği (m)*	Alanı (ha)
A1	2730-2560	2651	38,2	230	5,03
B1	3070-2910	2993	37,6	290	5,12
B2	3080-3025	3056	38,5	80	0,87
B3	2900-2795	2847	36,9	150	2,85
B4	2790-2680	2733	39,1	120	1,53
B5	2701-2563	2629	40,5	95	1,51
B6	2600-2547	2574	41,6	110	0,77

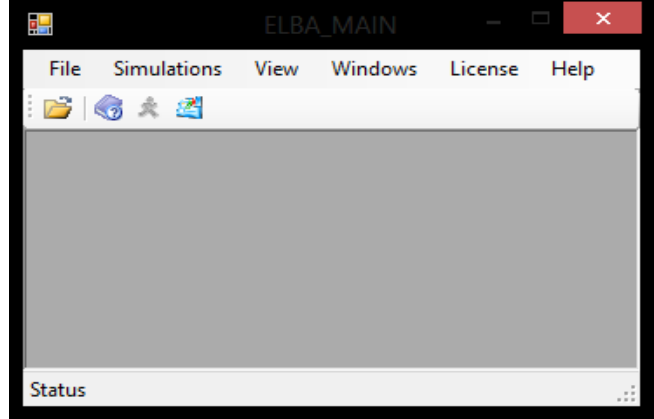
\* En geniş olduğu yerdeki genişliği belirtilmiştir.

## 2.2. ELBA+ Yazılımı ile Çığ Simülasyonu

ELBA+ (EnergyLineBasedAvalanche) yazılımı Avusturya BodenKültür Üniversitesi'nde geliştirilmiş, Voellmy modelini esas alarak simülasyonu gerçekleştiren ve Avusturya genelinde çok iyi kayıt altına alınan 147 çığın analizinden sonra parametreleri kalibre edilerek kullanıma sunulmuştur. ELBA+ yazılımında analizi gerçekleştirilecek çığa ilişkin konum ve tablo bilgileri ArcGIS yazılımına entegre ELBA+ eklentisi (Şekil 6) kullanılarak hazırlanmaktadır. Çığın başlama bölgesi ve simülasyonun koşturulacağı hesap alanı (domain veya catchment) sayısallaştırıldıktan sonra SAM verisi tanımlanır. Daha sonra modele ilişkin parametreler ayarlanarak simülasyonun veri hazırlama aşaması sona ermektedir. ELBA+ yazılımının simülasyon modülü (Şekil 7) ile model koşturularak işlem tamamlanmaktadır. ELBA+ yazılımı ile gerçekleştirilen simülasyonlarda başlama bölgesi (m<sup>2</sup>), başlama bölgesinde kar derinliği (m), başlama bölgesinde kar yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>), katkı ve direnç bölgeleri (opsiyonel), sürtünme parametreleri (yer sürtünme, Coulomb,  $\mu$  ve iç sürtünme, Türbülans,  $\xi$ ) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM)'dir.



Şekil 6. ELBA+ ArcGIS eklentisi

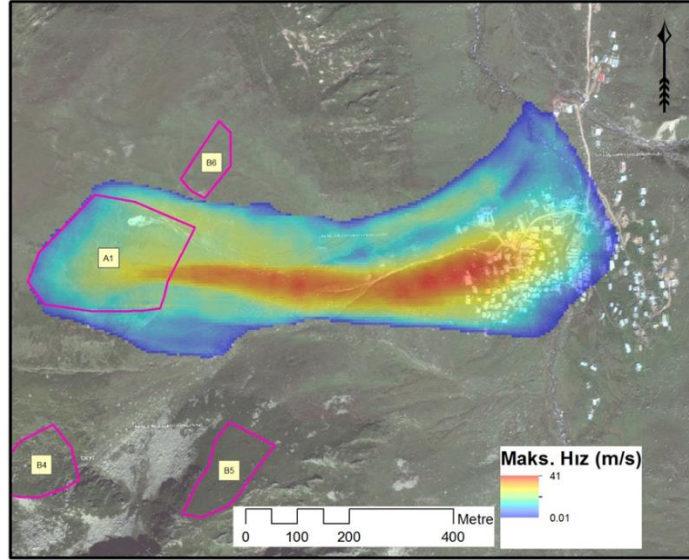


Şekil 7. ELBA+ Simülasyon Modülü görüntüsü

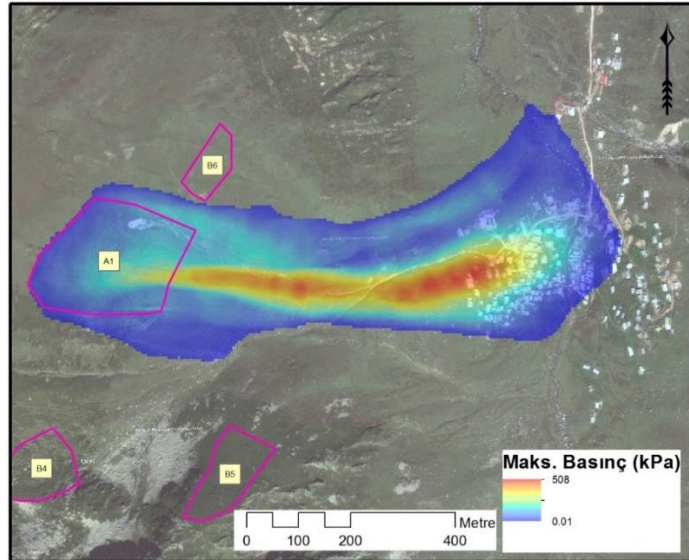
Yukarı Kavron çığ alanında başlama bölgesindeki kar yoğunluğu çığ olaylarının genellikle Ocak-Şubat aylarında meydana geldiği düşünüldüğü için kuru kar çığı toz ve yoğun akış veyahut karışık olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada simülasyonun yapılmasında belirlenmesi gereken başlama bölgesindeki kar kalınlığı, kar yoğunluğu gibi parametreler 100 yıl tekerrür aralığındaki bir çığ için değerlendirilmiştir. Çığa ilişkin ölçüme dayalı gözlemlerin olmamasından dolayı alandaki gözlemlere dayanarak ve güvenli tarafta kalmak için yoğunluk değeri 300 kg/m<sup>3</sup> kabul edilmiştir. Başlama bölgelerindeki kar kalınlığı kar yağışlarına eşlik eden rüzgârların rüzgâr altı yamaçlarda kar birikimine sebep olmasından dolayı 160 cm olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanının denizel iklimin etkisinde olmasından dolayı aşırı kar yağışlarının gözlenmesi, çığın kanal çığı özelliği göstermesi nedeniyle etki edebileceği bütün alanlar katkı bölgesi olarak tanımlanmış ve 30 cm olarak kabul edilmiştir. Çığı yavaşlatabilecek veya sürtünme parametrelerini değiştirebilecek herhangi bir ormanlık vb. alan bulunmadığından direnç bölgesi tanımlanmamıştır. Simülasyonun en önemli girdi parametrelerinden biri olan SAM verisi (5x5 m grid çözünürlüklü) sadece esas risk unsuru olarak değerlendirilen A1 kod numaralı başlama bölgesi için yersel ölçümlerle 1:1000 ölçekli olarak üretilmiştir. Çalışmada 2006-2007 yılında meydana gelen çığ temel alınarak sürtünme parametrelerinin kalibrasyonu için pek çok geri hesaplama yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarı Kavron Çığ yolunda yapılan geri hesaplama senaryoları sonucunda A1 kod numaralı başlama bölgesinden kopan çığ için yer sürtünme parametresi başlama bölgesinde 0.27, akma bölgesinde 0.165 ve birikme bölgesinde 0.33 olarak belirlenmiştir. Yapılan simülasyonun sonucuna göre çığ kütlelerinin hacmi 80480 m<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Çığın maksimum akış hızı 100 Yıl tekerrür aralıklı çığda 40 m/s'i (maksimum 41 m/s) aşarken (Şekil 8) hızın bir fonksiyonu olan maksimum etki basıncı 500 kPa'ı aşmaktadır (Şekil 9). Simülasyon sonuçlarına göre özellikle çığ yolunun orta kısmına doğru yayla evlerinin başladığı bölgede hız maksimum değerine ulaşmıştır. Yayla evlerinin içinden geçtiği yer boyunca hız yine çok yüksek olarak seyretmekte ancak vadi tabanında eğimin azalmasıyla beraber çığ kütlesi de enerjisini kaybetmektedir. Çığın etki basıncı da genel olarak çok yüksek seyretmekte ve yayla evlerinin başladığı yerde en yüksek değerine ulaşmaktadır. Genellikle yayla evlerinin yoğun bulunduğu kısımlarda çok yüksek olarak geçtiği görülmektedir. Vadi tabanında yine eğimin azalmasına bağlı olarak etki basıncı düşmekle beraber bu bölgede bile 50 kPa'nın üstünde seyrettiği ve yıkıcı olma potansiyelinin devam ettiği görülmektedir.



Şekil 8. 100 yıl tekerrür aralıklı senaryo için çığın hızı



Şekil 9. 100 yıl tekerrür aralıklı senaryo için çığın maksimum etki basıncı

Simülasyon sonuçlarına göre çığın maksimum akış yüksekliğinin 10 m'yi bulduğu görülürken, yayla evlerinin başladığı yer de 5 m yükseklikte seyretmektedir. Yapılan simülasyon sonuçlarının 100 yıl tekerrür aralığı için 2006-2007 yılında meydana gelen çığ ile uyumlu olduğu görülmektedir.

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Rize Çamlıhemşin Yukarı Kavron yaylası hemen her yıl çığ olaylarına maruz kalmakta, zaman zaman da yayla evleri üzerinde yıkıcı hasarlar oluşturmaktadır. Her ne kadar köylüler kendi imkanları ile çığlardan korunmaya çalışsalar da meydana gelen çığ olaylarının olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması veya minimize edilmesi için koruyucu teknik yapıların tasarımı ve tehlike/risk haritalama çalışmalarının yapılması gereklidir. Bu amaçlar doğrultusunda çığın hızı, etki basıncı ve akış yüksekliği gibi çığ dinamiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı alanda 2006-2007 yılında meydana gelen çığ olayı baz alınarak ELBA+ yazılımı ile 100 yıl tekerrür aralığında simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları ile sürtünme parametrelerinin kalibrasyonu yapılmış ve sonuçlar meydana gelen çığ olayı ile karşılaştırılmıştır. Kalibre edilen parametrelere bağlı olarak yapılan simülasyon sonuçlarının meydana gelen çığ ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

Christen, M., P. Bartelt, U., Gruber., 2002, AVAL-1D: an avalanche dynamics program for the practice. *In Proceedings of International Congress INTERPRAEVENT 2002 in the Pacific Rim, 14-18 October 2002, Matsumoto, Japan. Tokyo, International Research Society INTERPRAEVENT for the Pacific Rim, 715-725.*

5. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul

**Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P.,** 2010, RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain, *Cold Regions Sci. Technol.*, 63, 1–14.

**Fuchs, S., Bründl, M., Stötter, J.,** 2004, Development of avalanche risk between 1950 and 2000 in the Municipality of Davos, Switzerland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 263–275.

**Gubler, HU.,** 1993, Swiss avalanche-dynamics procedures for dense flow, Avalanches. *AlpuG, Dr. H. Gubler, Richtstattweg 2, CH-7270 Davos Platz.*

**Jamieson, B., Margreth, S., Jones, A.,** 2008, Application and limitations of dynamic models for snow avalanche hazard mapping, Proceedings of the ISSW 2008. Wistler, Canada, pp. 730–739.

**Oremus, RM.,** 2006, A one dimensional model of dense snow avalanches using mass and momentum balances, *A Thesis*, presented to the faculty of Humboldt State University, Arcata.