
SERİ

B

CİLT

57

SAYI

2

2007

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



F.1

Ormanlık Alanlarda Taş ve Kaya Yuvarlanmaları

Abdurrahim Aydın

İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı
34473 Bahçeköy-İstanbul
Tel: 0212 226 11 00, e-mail: aaydin@istanbul.edu.tr

Kısa Özet

Türkiye'deki dağlık bölgeler doğal afetlere karşı ormanların koruyucu işlevlerine gereksinme duymaktadırlar. Taş ve kaya yuvarlanmaları dağlık bölgelerde insan hayatını ve alt yapı tesislerini tehdit eden doğal afetlerden biri olup ağaçlarda kabuk yaralanması, gövde zararı, kökünden sökme ve tepe kırılmaları gibi zararlara yol açabilirler. Son yıllarda koruyucu fonksiyonu olan dağ ormanlarının sahip olması gereken özellikler bilimsel araştırmalara konu olmuştur. Bu makalede taş ve kaya yuvarlanmaları tanımlanmış, ağaç ile taş ve kaya yuvarlanmaları arasındaki ilişki ve ormanların taş ve kaya yuvarlanmaları üzerine olan etkileri açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taş ve kaya yuvarlanmaları, ağaç, orman, doğal afetler

Rockfalls in Forests

Abstract

Mountainous areas in Turkey need to protective functions of mountain forests against natural hazards. Rockfalls are one of the natural disasters which cause of serious risks to human lives and infrastructures in the mountainous areas. Rockfall causes injuring of tree barks, gives damage to stems, uproots and breaks tree crowns. In recent years protective function of mountain forests gained particular interest and become an important subject of scientific researches. Definition of rockfall, tree- rockfall interaction and effects of mountain forests on rockfall are subjects of this study.

Keywords: Rockfall, tree, forest, natural disaster

1. Giriş

Yeryüzünün %24'ü (35.4 milyon km²) dağlık alanlardan oluşmakta ve dünya ormanlarının yaklaşık %28'i (9 milyon km²) bu alanlarda bulunmaktadır (Price ve Butt, 2000). Ayrıca yeryüzündeki insanların da %10'u yine dağlık bölgelerde yaşamaktadır (Ives ve ark., 1997; Butt ve Price, 1999).

Taş ve kaya yuvarlanmaları pek çok dağlık bölgede yerleşim yerlerini, yolları vb. alt yapı tesislerini (Perret ve ark., 2004, 2005), insan hayatını tehdit eden (Le Hir ve ark., 2004; Stokes ve ark., 2005) ve orman ekosistemine zarar veren doğal olaylardandır (Stokes ve ark., 2005). Subalpin ve montan yükselti basamaklarındaki ormanların en önemli işlevi, insan yaşamının ve alt yapı tesislerinin güvenliğini çığ, taş ve kaya yuvarlanmaları, erozyon ve sel gibi doğal afetlere karşı korumasıdır (Brang ve ark., 2001). Avrupa Alplerinde bulunan pek çok bölgedeki yaşamın sürdürülmesi, dağ ormanlarının çığlara ve taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı koruyucu işlevine bağlıdır. Avusturya ve İsviçre'de her yıl yaklaşık olarak 50 milyon €, dağ ormanlarının koruyucu işlevlerini sürdürebilmesi için bu ormanların bakım ve geliştirilmesine harcanmaktadır (CIPRA, 1996; EOMF, 2000).

Ormanlar; çığ, taş ve kaya yuvarlanmaları, sel vb. doğal afetlere karşı bilhassa eğimli dağlık yamaçlarda belirgin bir şekilde koruma görevi görmektedirler (Çolak ve Pitterle, 1999; Berger ve ark., 2002; Schönenberger ve ark., 2005). Bundan dolayı dağ ormanları özellikle bu tür felaketlerin yaşandığı yerlerde gün geçtikçe daha büyük önem kazanmaktadır (Perret ve ark., 2004). Avusturya, İsviçre ve Bavyera (Almanya)'da 19. yy boyunca sel, çığ, taş ve kaya yuvarlanmaları gibi çok sayıda doğal afet meydana gelmiş ve bunun sonucunda bir çok yerde yerleşim yerleri ve tarım alanları zarar görmüştür. Bu etkilerin bir sonucu olarak Avusturya ve Bavyera'da 1852, İsviçre'de ise 1876 yılında ormanların geliştirilmesi ve doğal afetlere karşı koruyucu görevlerini yerine getirebilmeleri için ormanlardan yararlanmayı sınırlayıcı önemli yasalar çıkarılmıştır (Kräuchi ve ark., 2000).

Dağlık bölgelerin en büyük sorunu, erozyonun artması ve yamaç stabilitesinin bozulması gibi doğal ve antropojenik etkenlerdir (Selby, 1982; Kräuchi ve ark., 2000; Dorren, 2002; Perret ve ark., 2005). Doğal etkenler genellikle iklim ile ilişkili ve çok fazla zarar oluşturma eğilimindedir. Ancak nüfus yoğunluğunun ve turizm faaliyetlerinin dağlık bölgelerde artması buradaki dağ ormanlarının koruma işlevini ön plana çıkarmıştır (Kräuchi ve ark., 2000). Ormanların taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı etkin koruma sağladığı bilinmekle beraber (Jahn, 1988), maksimum korumayı veya optimum sürdürülebilir korumayı sağlayacak meşcerelerin hangi özelliklere sahip olması gerektiği (Kräuchi ve ark., 2000; Perret ve ark., 2004) ve bu ormanların taş ve kaya yuvarlanması üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu ile ilgili fazla bir bilgi bulunmamaktadır (Dorren, 2002; Dorren ve ark., 2005; Stoffel ve ark., 2005a, b; Brauner ve ark., 2005; Stokes ve ark., 2005; Perret ve ark., 2004, 2005). Bölgesel ölçekte orman-taş ve kaya yuvarlanması ilişkileri Jahn (1988), Dorren ve ark., (2004a,

b) gibi araştırmacılar tarafından incelenmiş, diğer çalışmalar ise genellikle dağ ormanlarının taş ve kaya yuvarlanmalarını önleyici fonksiyonunu vurgulayan çalışmalar olmuştur (Bebi ve ark., 2001).

Taş ve kaya yuvarlanmaları Türkiye’de de Ankara, Antalya, Bolu, Bursa, Elazığ, Erzurum, Giresun, İzmir, Kastamonu, Mersin, Muğla, Sinop, Trabzon ve Artvin gibi illerde sıkça görülen (Tavşanoğlu, 1961) ve o yöredeki insan yaşamı ile alt yapı tesislerini olumsuz yönde etkileyen doğal afetlerdendir. Dağlık bir ülke olan Türkiye’nin ortalama yükseltisi 1132 m olup bu yükselti Avrupa’ninkinin (330 m) 3,5 katına ulaşmakta, Asya’ninkini (1050 m) bile aşmaktadır. Türkiye’de yükseltisi 1000 m’den fazla olan alanlar, (göller dışında) ülke yüzölçümünün %56’sını oluşturmaktadır (BPD 1969’a atfen Uzunsoy ve Görçelioğlu 1985). Ayrıca Türkiye’de 1500 m’nin üzerindeki toplam alan ülke yüzölçümünün %27’sine tekabül etmekte ve toplam orman alanının %15,23’ü bu yükseltinin üzerinde yer almaktadır (Sağ, 2002). Türkiye’de eğimi %40’ın üzerinde bulunan alanlar yine ülke yüzölçümünün %45’ini oluşturmaktadır (DSİ 1970’e atfen Uzunsoy ve Görçelioğlu, 1985). Dağlık ve eğimli bir ülke olan Türkiye’de taş ve kaya yuvarlanmaları ciddi bir sorun olmakla beraber bu olayların ağaçlar üzerine etkileri ile orman-taş ve kaya yuvarlanmaları ilişkileri üzerine yeterince çalışma bulunmamaktadır. Bu makalenin amacı; (1) taş ve kaya yuvarlanmalarının kapsamlı bir şekilde tanımlanması ve sebeplerinin ortaya konması, (2) Ağaç ile taş ve kaya yuvarlanmaları ilişkilerinin açıklanması ve, (3) Ormanların taş ve kaya yuvarlanmaları üzerine olan etkilerinin irdelenmesidir.

2. Kavram Olarak Taş ve Kaya Yuvarlanmaları ve Taş ve Kaya Yuvarlanmaları ile Ağaç ve Orman Arasındaki İlişkiler

2.1. Kavram olarak taş ve kaya yuvarlanmaları

Genel bir tanımlama ile taş ve kaya yuvarlanmaları değişik büyüklükteki taş ve/veya kaya parçalarının hareketi şeklinde tanımlanmış olup, hacmi 5 m³ ten küçük blokların bağımsız hareketi olabileceği gibi hacmi 5 m³ ten fazla olan kitle şeklindeki hareketleri de içermektedirler (Berger ve ark., 2002).

Taş ve kaya yuvarlanmaları Perret ve ark., (2004) tarafından aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

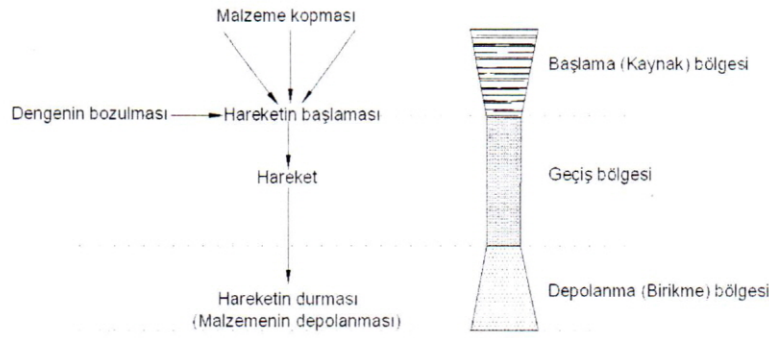
A- Taş ve Kaya Yuvarlanması (Almanca; Steinschlag, İngilizce; Rockfall): Kayalık bir yamaçtan veya gevşek materyalden kopan taş (çap<0.5m) ve/veya kaya bloklarının (çap>0.5m) düşmesi, yuvarlanması veya yere çarpıp sıçrayarak ilerlemesi olarak tanımlanmıştır. Taş ve kaya yuvarlanması çok ani gelişen tek bir olay olabileceği gibi ard arda da gelişebilmektedir. Taş ve kayalar genellikle 5-30 ms⁻¹ (m/saniye) hızla ilerler ve yamaç eğiminin 30°’nin altına düşmesiyle dururlar.

B- Yamaç Göçmeleri (Almanca; Felsstruz, İngilizce; larger rockfall): bu durumda da esas itibariyle yamacın bir parçasının kütle halinde hareketi sözkonusudur. Harekete geçen materyal miktarı $100-100\ 000\ m^3$, hareket halindeki kütle hızı ise $10-40\ ms^{-1}$ arasında değişmektedir.

C- Kaya Çığları (Almanca; Bergstruz, İngilizce; fast rockslides/rock avalanches): Çok büyük kaya kütlelerinin (>1 milyon m^3) aynı anda harekete geçmesiyle oluşur. Hızları çoğu zaman $40\ ms^{-1}$ i aşar.

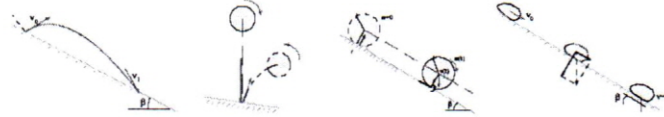
2.2. Taş ve kaya yuvarlanmalarının gerçekleşmesi

Taş ve kaya yuvarlanmalarında kopmanın başladığı noktadan depolandığı yere kadar takip ettiği hat yörünge (trajectory) olarak adlandırılır. Yörünge yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla (Berger, 2004); 1- "Başlama (Kaynak) bölgesi", 2- "Geçiş bölgesi", 3- "Depolanma (Birikme) bölgesi" olarak ayrılır (Şekil 1).



Şekil 1. Taş ve kaya yuvarlanma yörüngesi ve bölümleri (Berger, 2004)

Taş ve kaya yuvarlanmaları yörüngelerinin hareket şekilleri dikkate alınarak; serbest düşme, sıçrama, yuvarlanma ve kayma olmak üzere 4 farklı şekilde tanımlanabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Taş/kaya hareket şekilleri: Serbest düşme, sıçrama, yuvarlanma ve kayma (Heidenreich, 2004).

Düşen bir taş ve/veya kaya genellikle serbest düşme şeklinde ilk hareketine başlar sonra yamaca çarpar ve yamaç boyunca ya sıçrayarak (bouncing) ya yuvarlanarak ya da kayarak hareketine devam eder. Eğimin düşmeye başladığı yerde de hızını ve enerjisini kaybederek yavaşlamaya ve durmaya başlar (Heidenrich, 2004). Bu durum yörüngenin boyunca yolunun üzerinde herhangi bir yapay ya da doğal engelin olmaması durumunda geçerlidir. Yamaç eğimi 45° ise bloklar genellikle yuvarlanarak, $46-63^\circ$ arasında ise sıçrayarak, 63° den fazla ise de serbest düşme şeklinde hareket etme eğilimindedir. Çok büyük kaya blokları ise kayarak hareket etmektedirler (Richtie, 1963; Dorren, 2002; Heidenrich, 2004). Gsteiger (1989), genel bir yaklaşım olarak eğimi 30° 'den fazla olan yamaçların taş ve kaya yuvarlanmalarının kaynağı veya geçiş bölgeleri, buna karşın eğimin 30° 'den az olan yamaçların ise birikme bölgesi¹⁾ olduğunu hatta bitki örtüsü ile kaplı yamaçlarda birikme bölgesi eğiminin daha da artarak $35^\circ-38^\circ$ arasında değiştiğini belirtmiştir.

Yuvarlanan taş ve/veya kayanın hareketi üzerine topoğrafya, yamaç karakteristikleri (yamaç içine su sızması ve bu suyun hareketi, nem seviyesinin değişmesi), taş ve kayalardaki iç sıcaklık değişiklikleri, donma- çözülme döngüsü, yükselti, bakı (Matsuoka ve Sakai, 1999; Marquinez ve ark., 2003; Berger ve ark., 2002; Le Hir ve ark., 2004), jeolojik faktörler ile (Matsuoka ve Sakai, 1999; Marquinez ve ark., 2003) ormanlık yamaçlarda da meşcerenin yapısı etkili olan faktörlerdir (Berger ve ark., 2002; Le Hir ve ark., 2004). Nitekim Perret ve ark., (2004) "taş ve kaya yuvarlanmaları; aşırı yağış, donma-çözülme süreci gibi etkenlerin tetiklemesi sonucunda çiplak kayalık yamaçların tedricen zayıflayıp parçalanması ile meydana gelirler" demektedir.

Sirk (Buz yalağı) duvarlarındaki maksimum taş ve kaya yuvarlanması aktivitesi karların erime sürecinden sonra ilk 5-15 gün içinde olmakta ve kaya içindeki donma-çözülme derinliği ise 1 m'ye varmaktadır. Dolayısıyla yoğun bir aktivite genellikle kaya yüzeyindeki günlük sıcaklık değişimleri veya günlük donma-çözülme sonucundan ziyade daha uzun süreli veya mevsimsel sıcaklık değişiklikleriyle ilgilidir (Matsuoka ve Sakai, 1999). Stoffel ve ark., (2005b) İsviçre Alpleri'nde yaptıkları bir çalışmada taş ve kaya yuvarlanmalarını yıllık halka analizleri yapmak suretiyle mevsimsel olarak tespit etmişler ve en fazla aktivitenin (% 88) vejetasyon mevsimi dışında (yerel olarak Ekim ayının ortasından Mayıs ayının sonuna kadar) meydana geldiğini ve bu durumun arazide yaptıkları gözlemlerle uyduğunu bildirmişlerdir.

Potansiyel taş ve kaya yuvarlanmalarının kaynağı olan bölgeler genellikle eğim haritaları ve jeolojik haritaların birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir. Örneğin Jeolojik yapı morenik ise veya birikmiş taş çakıl yığınlarından oluşan eğimli bir yamaç ile göller, dereler ve glasiyerler gibi alanlarda eğim 40° 'nin üstünde ise potansiyel taş ve kaya yuvarlanmasına kaynak teşkil edebilecek alanlardır (Dorren ve Seijmonsbergen, 2003). Şeyl, kumtaşı, kireçtaşı ve kuvarsit litolojiler taş ve kaya yuvarlanması açısından yüksek risk taşırlar (Duarte ve Marquinez, 2002). Duarte ve Marquinez (2002)

¹⁾ Berger (2004), $30-35^\circ$ arası eğime sahip yamaçların birikme bölgesi olduğunu bildirmektedir.

İspanyada yaptıkları çalışmada kalker yapının en çok taş ve kaya yuvarlanması aktivitesi gösterdiğini bununla beraber yükseltinin ve hava sıcaklığının 0° nin altında olduğu gün sayısının artması ile taş ve kaya yuvarlanması aktivitesinin de arttığını belirtmektedir. Yükseltinin artması ile beraber aktivitenin de artması; esas itibariyle yüksek rakımlarda daha güçlü donma-çözülme döngüsünün olması ve yağmur ve karın neden olduğu nem fazlalığının kayada ayrışma meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır. Kısacası dağlık bölgelerde yükseltiye bağlı olarak sıcaklığın azalması, yağmur ve kar yağışının artması taş ve kaya aktivitesini arttıran etkenlerdir.

Silisli yamaçlar taş ve kaya yuvarlanması aktivitesine karşı çok hassastırlar ve yamaç eğiminin artmasıyla beraber aktivite de artmaktadır (Marquinez ve ark., 2003). Stoffel ve ark., (2005a) taş ve kaya yuvarlanması aktivitesini inceledikleri bir çalışmada gnays yapının eğimin artması ile beraber yüksek aktivite kazandığını belirtmişlerdir. Magmatik kayalar ise soğuyunca çok yoğun bir şekilde parçalanma eğilimi gösterirler (Schweigl ve ark., 2003) (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı kaya tiplerinin taş ve kaya yuvarlanmasına karşı hassasiyeti (GSC, 2002'e atfen Dorren ve Seijmonsbergen, 2003).

Kaya tipi	Yoğunluk (kgm ⁻³)	Yuvarlanma aya karşı hassasiyeti	Kaya tipi	Yoğunluk (kgm ⁻³)	Yuvarlanma aya karşı hassasiyeti
Tabakalı Marn ve Kumtaşı	2400	Düşük	Dolomit ve Kireçtaşı	2400	Yüksek
Kireçtaşı, Kumtaşı ve Şist	2600	Orta	Amfibol, ofiyolit ve gnays	2950	Yüksek
Kireçtaşı	2500	Yüksek	Kuarsitli gnays ve granit gnaysı	2750	Yüksek
Şist ve Marn	2400	Düşük	Mikaşist	2750	Düşük
Kireçtaşı ve Dolomit	2600	Yüksek	Biotitli gnays	2650	Yüksek
Gnays, Amfibol ve Kireçtaşı	2900	Yüksek	Serpantin, Kalsit ve Amfibol	3000	Yüksek

2. 3. Taş ve kaya yuvarlanmaları ile ağaç ve orman arasındaki ilişkiler

2. 3. 1. Ağaç ile taş ve kaya yuvarlanmaları arasındaki ilişkiler

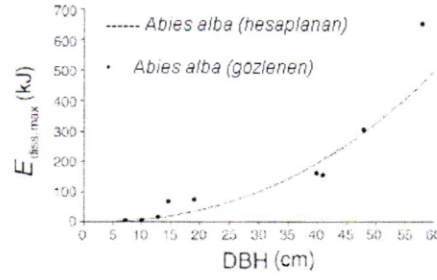
Yuvarlanan taş ve kayalar çarptıkları ağaçların kabuklarını yaralama, gövdeye zarar verme, ağaçları kökünden sökme ve ağacın tepesinin kırılması gibi hasarlara yol açabilirler (Berger ve ark., 2002; Le Hir ve ark., 2004; Dorren ve ark., 2005; Perret ve ark., 2005). Bu durum genellikle yüksek bir kinetik enerjiye sahip yuvarlanan taş ve kayaların ağaca çarpması ve bu enerjisini kök sistemi dahil olmak üzere ağaca aktarmasıyla gerçekleşir. Eğer ağaç gövdesi kırılmaz veya parçalanmaz ve kök sistemi iyi, yani ağaç toprağa çok iyi tutunmuş ise bu durumda enerjinin önemli bir kısmı ağaç gövdesinden geçmek suretiyle (ağaç gövdesi spiralimsi bir hal alır) tepeye kadar varır ve tepeyi kırabilir (Dorren ve ark 2005).

Ağaçların taş ve kaya yuvarlanmasına karşı etkin koruma sağlamaları esas itibarıyla meşceredeki ağaçların türüne, göğüs çapına ve meşceredeki dağılımına bağlıdır (Frehner ve ark., 2005). Genel bir yaklaşım olarak Angiospermae türlerinin daha dayanıklı olduğu söylenebilir (Dorren ve Berger 2005; Stokes ve ark., 2005). Ayrıca yapraklı türler taş ve kaya yuvarlanmalarının meydana getirdiği zararların ardından dallanma ve yaralı yerleri daha hızlı kapatma yeteneğine sahip olduklarından bu tür alanlarda kullanılması tavsiye edilmektedir (Tavşanoğlu, 1961; Stokes ve ark., 2005). Küme halinde yetişen ağaç türleri de (Fındık *Coryllus avellana* gibi) taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı etkin koruma sağlamaktadır. Ancak ne kadar enerji kırabildikleri ile ilgili kantitatif bir araştırma yapılmamıştır (Dorren ve Berger 2005). Geçiş ve birikme bölgelerinin fazla uzun olmaması halinde yoğun çalılıkların (Berger ve Rey, 2001; Perret ve ark 2004) ve çok fazla sayıda gövdenin bulunduğu baltalık işletmelerin bile etkin bir şekilde koruma sağlayabilecekleri belirtilmiştir (Gsteiger 1993).

Ağaçların göğüs çapının artması ile yuvarlanan taş ve kayaların enerjisinin ağaç tarafından kırılması (sönümlenmesi) arasında üstel bir ilişki bulunmaktadır (Berger, 2004; Dorren ve Berger, 2005) (Şekil 3). Avrupa göknarı (*Abies alba*)'nın kırabileceği enerji miktarı için Dorren ve Berger (2005) aşağıdaki formülü önermektedirler;

$$E_{diss.max} = 38.7(DBH)^{2.31} \text{ formülü ile ifade edilmiştir.}$$

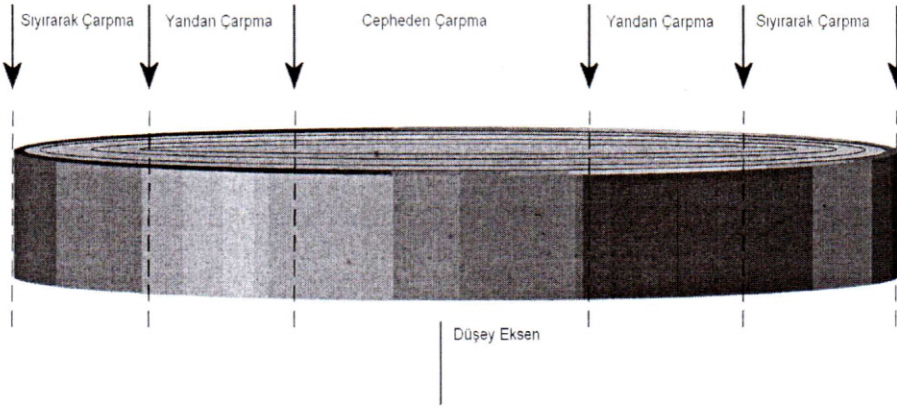
Formülde; $E_{diss.max}$: Maksimum kırılacak enerjiyi, DBH: ağacın göğüs yüksekliğindeki çapını göstermektedir.



Şekil 3. Avrupa göknarının göğüs yüksekliğindeki çapına bağlı olarak kırabileceği enerji miktarı (Dorren ve Berger, 2005).

Yuvarlanan taş ve kayanın çarpma yüksekliği özellikle ağacın göğüs çapı 15 cm'den küçükse enerjiyi büyük oranda etkilemekte ancak göğüs çapı 15 cm'den büyükse etkime yüksekliğinin etkisi 1m'ye kadar en az seviyede olmaktadır (Dorren ve Berger, 2005).

Yuvarlanan taş ve kayalar ağaca cepheden, yanlardan çarpabilmekte veya ağacı sıyırmakta ve ona göre kırılma enerjisi de farklı olmaktadır (Şekil 4).



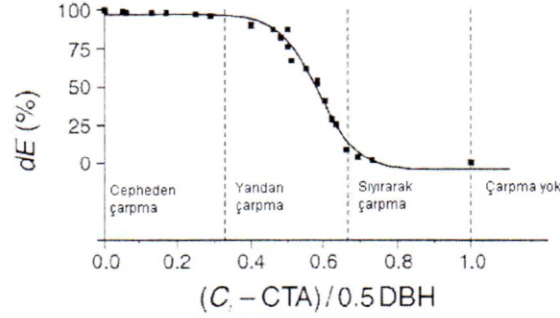
Şekil 4. Taş ve kayaların ağaca çarpma şekilleri (Berger, 2004).

Yuvarlanan taş ve kayaların gövdeye çarpma şekli de enerjinin kırılması üzerinde önemli bir paya sahiptir ve bunun belirlenmesi için Dorren ve Berger (2005) şu formülü önermektedirler;

$$dE = -0.046 \frac{0.98 + 0.046}{1 + 10^{-8.007(0.58 - (C_f - CTA)/0.5DBH)}}$$

Formülde; dE : enerji kırılmasını (-), $C_i - CTA$: taşın gövdeye çarptığı yer (C_i) ile gövdenin düşey eksenine (CTA) arasındaki yatay mesafeyi göstermektedir (m) (Şekil 4).

Formülden de anlaşıldığı gibi taş ve/veya kayanın gövdeye çarptığı yer ile ağacın düşey eksenindeki mesafe arttıkça gövdenin enerji kırma özelliği de azalmaktadır. Buna göre cepheden çarpma en fazla enerji kırma eğilimi gösterirken, yandan çarpma daha az, sıyrarak çarpma ise hemen hiç enerji kırma özelliği göstermemektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Yuvarlanan taş ve kayaların gövdeye çarpma şekline göre enerjilerinin kırılması (Berger, 2004).

2.3.2. Orman ile taş ve kaya yuvarlanması arasındaki ilişkiler ve taş ve kaya yuvarlanmalarının önlenmesi

Heyelan, erozyon ve sel gibi bazı doğal afetler yüzey özelliklerinden ziyade toprak özelliklerine daha çok bağlı iken, kar sünmesi (sürünmesi), kar akması, çığlar (McClung ve Schaerer, 1993; Birkeland ve ark., 1995, Smith ve McClung, 1997; McClung 2001) ve taş ve kaya yuvarlanmaları gibi diğer doğal afetler ise zemindeki yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır (McClung ve Schaerer, 1993; Birkeland ve ark., 1995, Smith ve McClung, 1997; McClung 2001; Perret, 2004). Hatta yüzeyin çeşitli yapay veya doğal engellerle kaplı olması çoğu zaman hareketin başlamasına engel bir durum teşkil edebilir. Ormanla kaplı yamaçların yuvarlanan taş ve kayaların enerjilerini, hızlarını (Perret ve ark., 2004) ve sıçrama yüksekliklerini bitki örtüsünden yoksun alanlara nazaran daha fazla azalttığı bilinmektedir (Dorren ve Berger, 2006).

Ormanların taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı koruyucu etkisi en fazla kaynak (başlama) bölgesine yakın yerler ile birikme bölgesindedir. Geçiş bölgesinde bu etki kaynak bölgesine yakın yerler ile birikme bölgesine nazaran daha azdır. Kaynak bölgesinde ise ormanlar taş ve kaya yuvarlanmaları üzerine genellikle olumsuz yönde etki eder. Çünkü kaynak bölgesinde ağaç kökleri anakayadaki çatlakları genişletmekte

ve köklerin aktivitesinden dolayı kimyasal ayrışmayı ve anakayanın parçalanmasını hızlandırmaktadırlar (Jahn, 1988).

Bitki örtüsü ile kaplı yamaçlar (hareketin başlamasından sonra) daha çok enerji azaltma özelliklerine sahiptirler. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir (Jahn, 1988; Gsteiger, 1989; Brauner ve ark., 2005);

1- Hareket halindeki taş ve/veya kayalar bir ağaca çarptıklarında kinetik enerjisinin yaklaşık %80'ini kaybederler.

2- Çalılıklar veya diri örtü ile temas kinetik enerjiyi azaltır.

3- Orman toprağı yüksek nem kapasitesine sahiptir. Bu durum yuvarlanan taş ve kayaların sıçrama yükseklikleri, hız ve enerjilerini azaltmaktadır.

4- Çalılık, ayakta kuru, devrik vb. ağaçlardan kaynaklanan zemin pürüzlülüğü fazladır.

Dorren ve ark., (2005) Fransa'da yükseltisi 1200-1400 m, ortalama eğimi 38° olan 100 adet taş ve kaya ile ormansız alan (1. örnek alan 25 m genişliğinde 302 m uzunluğunda)'da yapılan deneme ile yükseltisi ve ortalama eğimi aynı, asli ağaç türleri Avrupa göknarı (%50), Avrupa ladini (*Picea abies*, %25), Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*, %17) ve Dağ akçaağacı (*Acer pseudoplatanus*, %4) olan, üzerinde 271 ağaç bulunan (290 ağaç/ha) ortalama göğüs çapı 31 cm (SD= 21 cm, max 89 cm), toplam göğüs yüzeyi alanı 29,5 m² (31,6 m² ha⁻¹) ortalama ağaç yüksekliği 26 m (SD = 4.8 m, max 36 m) olan ormanlık alanda² (2. örnek alan 53 m genişliğinde 223.5 m uzunluğunda) 102 taş ve kaya ile yaptıkları denemelerin sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Her iki alanda da ortalama taş ve kaya çapı 0.95 m, ortalama hacmi ise 0.49 m³ (min. 0.1 m³, max 1.5 m³ ve SD ise 0.3 m³)'tür.

Tablo 2. Orman olmayan (No 1) bir alan ile orman ile kaplı (No 2) bir alandaki taş ve kaya yuvarlanmalarının karşılaştırılması (Dorren ve ark.,2005).

	Örnek Alan No 1 (Ormansız alan)	Örnek Alan No 2 (Ormanlık alan)
Ortalama yerdeğiştirme hızı (Average translation V.).ms ⁻¹	11	8
Ortalama maks. hız (Average max.transl. V.) ms ⁻¹	15.4	11.7
Maksimum yerdeğiştirme hızı (Max transl. V.) ms ⁻¹	30.6	24.2
223.5 m sonra duran taş/kaya sayısı	5	65
Ormanlık bölgeyi aşan taş ve kaya sayısı	-	35
Yuvarlanan her bir taş/kaya nın etkilediği ağaç sayısı	-	2.8
Ortalama sıçrama yüksekliği (m)	1.5	1
Maksimum sıçrama yüksekliği (m)	8	2

² Ormanla kaplı alanda ilk 35 m'de ağaç bulunmamaktadır.

Taş ve kaya yuvarlanmasına maruz ormanlarda hektarda bulunması gereken ağaç sayısı son zamanlarda ilgi çeken çalışma konuları içinde yer almış ve bu amaçla İsviçre ormancılık örgütü bir el kitabı hazırlamıştır. Buna göre ağaç çaplarına göre hektarda bulunması gereken minimum gövde sayısı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Taş ve kaya yuvarlanmasına karşı geçiş bölgesinde etkin koruma sağlamak için gereken minimum ve ideal gövde sayıları (Frehner ve ark., 2005).

Taş/kaya çapı	<40 cm	40-60 cm	>60 cm
Minimum gövde sayısı	≥400 ($d_{130}>12$ cm)	≥300 ($d_{130}>24$ cm)	≥150 ($d_{130}>36$ cm)
İdeal gövde sayısı	≥600 ($d_{130}>12$ cm)	≥400 ($d_{130}>24$ cm)	≥200 ($d_{130}>36$ cm)

Yuvarlanan taş ve kayalar maksimum hızlarına ve enerji seviyelerine yamaçta orman veya herhangi bir engel yoksa yaklaşık 40 m'den sonra ulaşmaktadırlar (Berger ve ark., 2002; Perret ve ark., 2004; Dorren ve ark., 2005). Dolayısıyla ormanlık alanlarda eğim yönünde ne kadar boşluk olması gerektiği başka bir deyişle yuvarlanan taş ve kayaların çarpabileceği iki engel (burada ağaç gövdeleri) arasındaki mesafenin ne kadar olması gerektiği araştırma konusu olmuştur. Bu amaçla Gsteiger (1993) MTFD (Mean Tree Free Distance = Ağaç Bulunmayan Ortalama Mesafe (ABOM)) kavramını ortaya atmış ve nasıl hesaplanacağını formüle etmiştir. Ancak bu formül daha sonra Perret ve ark., (2004) ile Dorren ve ark., (2005) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre;

$$ABOM_{Gsteiger} = \frac{A}{(NrSxR_{diam}) + \sum d_{1,30}}$$

ABOM= ağaç bulunmayan ortalama mesafe (m), A= alan (m²)

NrS = alanda bulunan gövde sayısı, R_{diam} = yuvarlanan taş ve kayanın ortalama çapı (m), $\sum d_{1,30}$ = alandaki ağaçların göğüs yüksekliğindeki çaplarının toplamı (m)

Perret ve ark., (2004)'e göre;

$$ABOM_{Perret} = \frac{A}{NrSx(R_{diam} + d_{1,30(ort)})}$$

$d_{130(ort)}$: ortalama göğüs çapı

Dorren ve ark., (2005)'e göre ise ABOM alandaki ağaçların toplam göğüs yüzeyi alanına göre belirlenmekte ve şöyle hesaplanmaktadır;

$$ABOM_{gya} = \frac{A}{NrS(R_{diam} + \sqrt{(4G_{top})/(\pi NrS)})}$$

$ABOM_{gya}$ = göğüs yüzeyi alanına (basal area) bağlı ağaç bulunmayan ortalama mesafe (m), G_{top} = toplam göğüs yüzeyi alanı (m²)

ABOM değerinin küçük olması, alanda çok fazla ağacın bulunduğu veya bulunması gerektiği anlamına gelir ve bu durumda yuvarlanan taş ve kayalar daha çok sayıda ağaca çarpacaklarından daha kısa mesafede durdurulurlar. Ayrıca düşük ABOM değeri ağaçtaki yara yüksekliğinin ve meşcere içinde yuvarlanan taş ve kayaların hızlarının da düşük olduğu anlamına gelmektedir (Perret ve ark., 2005).

Ortalama yamaç eğimi 30° olan Sainte-Foy Tarentaise (Fransa) da meydana gelen taş ve kaya yuvarlanmalarını analiz etmek üzere yapılan simülasyon çalışmalarında alanda hiç orman olmaması durumunda yuvarlanan taş ve kayaların %60-95'inin yamaçın altında bulunan yola ulaşabileceği buna karşın göğüs yüzeyi alanı 25 m²ha⁻¹'dan fazla olan ve kaynağa yakın bir yerdeki sık bir orman örtüsünün bulunması durumunda yuvarlanan taş ve kayaların %10-15'inin yola ulaşabileceği bildirilmiştir (Dorren ve ark., 2004a).

Perret ve ark., (2004) Liechtenstein'da 2002 yılında ormanlık bir alanda meydana gelen ve hacmi 3 m³ olan taş ve kaya yuvarlanmalarını değerlendirerek olası senaryolara göre simülasyon yapmış sonuç olarak da 34 cm ortalama çapa sahip (dağılım uniform), hektarda ortalama 350 ağacın bulunduğu ve ABOM'un 15.5 m olması halinde önceki duruma göre (yamaçta orman bulunmamakta) maksimum hızın 3 ms⁻¹, maksimum enerjinin 500 kJ, sıçrama yüksekliğinin 0,50 m ve başlangıç noktasına göre durma mesafesinin de 50 m daha az olacağını bildirmekteler.

Taş ve kaya yuvarlanmaları meşcere üzerinde de bazı etkilere sahiptir. Taş ve kaya yuvarlanmaları meşcerede artım kaybına yol açmaktadır. Ayrıca taş ve kaya yuvarlanmalarından zarar görmemiş ormanlarda bireysel olarak ağaç ölümleri de ağaç türünün hassasiyetine bağlı olarak zarar görmüş ormanlardaki ağaçlardan çok daha azdır. Vospernik (2002) in bildirdiğine göre, zarar görmüş ormanlarda Norveç ladini (*Picea abies*)'nde ölüm oranı %66 (zarar görmemiş ormanda bu oran %0,9), Avrupa melezi (*Larix decidua*)'nde ise ölüm oranı %23 (zarar görmemiş ormanda bu oran %0,6) artmaktadır.

Fransa Alpleri'nde çok sayıda taş ve kaya yuvarlanması olayının yaşandığı ormanlarda yapılan gözlemler alandaki ağaç çapının yanısıra ağaç sayısının da önemli olduğunu, bu anlamda ince çaplı ağaçların da etkin koruma sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Dorren ve ark., 2004a) (Şekil 6). Nitekim 1,5m³ hacminde yuvarlanan bir kaya parçasının kalın bir ağaca çarpıp saptıktan sonra (enerjisinin büyük bir kısmını kaybettiğinden) çapı 10 cm olan ince bir ağaç tarafından durdurulabildiği bildirilmektedir (Dorren ve ark., 2005).



Şekil 6. Yuvarlanan bir kayanın Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana*) fidanı tarafından durdurulması (Kayaarkası-İnebolu-Kastamonu).

Ormanların doğal afetlere karşı nasıl koruma sağladıklarını modelleyebilmek için sözkonusu doğal afetin özellikleri kadar ormanın gelişimi ve hatta tek tek ağaçların nasıl davranış sergilediklerinin de modellenmesi gerekir (Dorren ve Berger, 2005). Koruma ormanlarının optimal yapısının nasıl olması gerektiği doğal afetin tipine göre değişir. Örneğin taş ve kaya yuvarlanmasına maruz bir alandaki koruma ormanının kaynak bölgesine yakın çok sayıda ve kalın çaplı ağaçlardan oluşması tercih edilir (Wehrli, 2005). Taş ve kaya yuvarlanmasına maruz ormanlık yamaçlarda daha fazla sayıda ve daha kalın ağaçların en iyi korumayı sağlayacağı varsayılmakla beraber bu çoğu zaman doğanın gerçeklerine uymamaktadır. Her şeyden önce çok fazla sayıda ağaç ile çok kalın çaplı ağacın varlığı mümkün olmamakta (Omura ve Marumo 1988, Brang ve ark., 2001, Le Hir ve ark., 2004), böyle meşcereler fırtına zararları ile kar kırmasına karşı hassas olmakta ve gençleştirme sorunları yaşamaktadır (Brang ve ark., 2001). Yamaçta çok az sayıda ağacın varlığı dahi yuvarlanan taş ve kayaların durdurulmasında ve maksimum sıçrama yüksekliklerinin azaltılmasında katkı sağlayabilmektedir. Bu durum bile alınması gereken teknik-yapısal önlemlerin maliyetini azaltabilmektedir (Dorren ve ark., 2004a). Taş ve kayaların geçtiği dik eğimli yamaçlarda devrik ağaçlar, ayakta kuru ağaçlar, yüksek kesilmiş ağaç gövdeleri ve çalılar yuvarlanan taş ve kayalara karşı bariyer görevi görmektedirler (Dorren ve Seijmonsbergen, 2003; Schöenberger ve ark., 2005; Brauner ve ark., 2005; Dorren ve ark., 2005). Tipik bir önlem ise kesilen ağaç gövdelerinin yamaç üzerine yatık veya çapraz (diyagonal) olarak yerleştirilmesidir. Örneğin Avusturyada çapı 50 cm'den kalın olan *Picea abies*'in taş ve kaya yuvarlanmasına karşı yamaçta bariyer görevini 10 yıl boyunca etkili olarak yerine getirdiği bildirilmektedir (Dorren ve ark., 2004 a, b).

3. Tartışma ve Öneriler

Şüphesiz, yüzeysel akışı azaltarak erozyonu, heyelanları, çığları, taş ve kaya yuvarlanmalarını önlemek için en iyi bitki örtüsü ormanlardır. Subalpin ormanlar yerleşim yerlerini, kara ve demiryollarını doğrudan koruyarak yüksek dağlık bölgelerdeki insanların yaşamlarının sürmesinde önemli rol oynamaktadır (Heumader, 2000). Ormanlar çığ, taş ve kaya yuvarlanmaları vb felaketleri mutlak bir surette önleyemezler (Steijn, 1996; Kräuchi ve ark., 2000, Brang ve ark., 2001). Ancak diğer arazi kullanma tiplerine göre orman örtüsü altında bu gibi felaketlerin büyüklük, miktar ve şiddeti en az seviyededir (Steijn, 1996). Teknik koruyucu önlemler pahalı olmakla beraber koruma ormanları ile kıyaslandığında daha az koruma sağlamaktadırlar. Ancak gereken yerlerde koruma ormanlarının yanında teknik önlemler de alınmalıdır (Dorren ve ark 2005). Yuvarlanan taş ve kayalar maksimum hızlarına yaklaşık 40 m'den sonra ulaşmaktadırlar (Berger ve ark., 2002; Perret ve ark., 2004; Dorren ve ark., 2005), dolayısıyla potansiyel tehlike bölgelerinde 20 m'den fazla açıklık bırakmamaya özen gösterilmelidir (Perret ve ark., 2004).

Taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı koruyucu işleve sahip dağ ormanlarının sahip olması gereken nitelikler ile ilgili çalışmalar henüz dünya ölçeğinde de istenilen sayı ve yoğunlukta değildir. Bununla beraber Orta Avrupa ormancılık araştırma kurumları son yıllarda bu konu ile ilgili bilimsel çalışmalara ağırlık vermektedirler (Bkz.Bölüm 2.3.2).

Dağ ekosistemlerindeki süreçlerin ortaya konulabilmesi için özellikle gözlem ve izlemeye dayalı çalışmaların deneysel çalışmalarla beraber yapılması (Kräuchi ve ark., 2000) ve risk değerlendirme çalışmalarıyla kombine edilmeleri gerekir (Hübl ve ark., 2002). Risk haritaları özellikle taş ve kaya yuvarlanması riski altındaki yoğun nüfusa sahip dağlık bölgelerde, taş ve kaya hattının yörüngesini (trajectory), yörüngenin genişliğini ve uzunluğunu, yuvarlanan taş ve kayaların hızını, enerjisini ve sıçrama yüksekliklerini bilmekte ve alınabilecek teknik önlemlerin niteliğini belirlemekte büyük öneme sahiptir (Heidenreich, 2004).

Taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı dağ ormanlarının koruyucu işlevlerinin sürdürülmesi amacıyla bu ormanların taş ve kaya yuvarlanmaları üzerindeki etkilerinin bütün süreçleriyle ortaya konulması gerekmektedir. Bunun için dünya ölçeğinde yapılan bilimsel çalışmalar genellikle; (1) yuvarlanan taş ve kayaların hız, enerji ve birikme mesafelerinin belirlenmesi (Gsteiger, 1993; Berger, 2004; Dorren ve ark., 2004 b) (2) farklı meşcere senaryolarının taş ve kaya yuvarlanmaları üzerine olan etkisinin irdelenmesi ve optimum meşcere kuruluşunun belirlenmesi (Perret ve ark., 2004; Berger ve Rey, 2004; Dorren ve ark., 2005; Schönenberger ve ark., 2005), (3) ağaç türlerinin taş ve kaya yuvarlanmalarına karşı gösterdiği bireysel reaksiyonun ortaya konulması (Berger, 2004; Brauner ve ark., 2005), (4) taş ve kaya aktivitesi ile risk haritalarının CBS ile hazırlanması (Marquinez ve ark., 2003; Dorren, 2002; Dorren ve ark., 2003; Berger ve Rey, 2004), (5) taş ve kaya yuvarlanmalarının tarihlendirilmesi için dendrokronolojik araştırmalar yapılması (Stoffel ve ark.,2005 a, b) belli başlı çalışma

konuları arasında yer almaktadır. Türkiye’de ormancılık araştırma kurumlarının taş ve kaya yuvarlanmaları ile ilgili zaman geçirmeden araştırmalara başlaması, bunun için ilgili bilim dalları ile (fizik, matematik, coğrafya, jeoloji) araştırma işbirliği olanaklarının geliştirilmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Bebi, P., F. Kienast ve W. Schönenberger, 2001.** Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests’ dynamics and protective function. *Forest Ecology and Management*. 145(12):3-14.
- Berger, F., C. Quetel ve L.K.A. Dorren, 2002.** Forest: A natural protection mean against rockfalls, but with wich efficiency?. International Congress Interpraevent 2002 in the Pasific Rim, Conference proceedings, Vol.2, Matsumoto, Japan
- Berger, F., 2004.** Rockfor project. Rockfall-forest interrelation. Efficiency of the protective function of mountain forest against rockfall. Cemagref, France
- Berger, F. ve F.Rey, 2004.** Mountain protection forests against natural hazards and risks: New french developments by integrating forests in risks zoning. *Natural Hazards* 33:395-404.
- Birkeland, K.W., K.J. Hansen ve R.L. Brown, 1995.** The spatial variability of snow resistance on potential avalanche slopes. *Journal. of Glaciology*. 41: 183-190.
- Brang, P., W. Schönenberger, E. Ott ve R. H. Gardner, 2001.** Forests as Protection from Natural Hazards. Pages 53-81 in J. Evans, editor. The Forests Handbook. Blackwell Science Ltd.
- Brauner,M., W. Weinmeister, P. Agner, S. Vospernik ve B. Hoesle, 2005.** Forest managment decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. *Forest Ecology and Management*. 207:75-85.
- Butt, N. ve M.F. Price, 1999:** Mountain people, forests, and trees: strategies for balancing local management and outside interest. Synthesis of an Electronic Conference of the Mountain Forum. April 12-May 14, 1999.
- CIPRA, 1996.** Mountain Forest Protocol of the Alpine Convention. CIPRA, Schaan.
- Çolak,A., A.Pitterle, 1999.** Yüksek Dağ Silvikültürü.(Cilt I- Orta Avrupa), Genel Prensipler. OGEM-VAK, 1. Baskı, Ankara
- Dorren, L.K.A., 2002.** Mountain ecosystems-GIS modelling of rockfall and protection Forest Structure. Ph.D.Thesis, University of Amsterdam, Netherland.
- Dorren, L.K.A., 2003.** A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*. 27 (1):69-87.
- Dorren, L.K.A. ve A.C. Seijmonsbergen, 2003:** Comparison of tree GIS-based models for predicting rockfall runoff zones at a regional scale. *Geomorphology*. 56 (1-2):49-64.

- Dorren, L.K.A., F. Berger, A.C. Imeson, B. Maier ve F. Rey, 2004a.** Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management*. 195 (1-2):165-176.
- Dorren, L.K.A., B. Maier, U.S. Putters ve A.C. Seinjmonsbergen, 2004b.** Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the european alps. *Geomorphology*. 57:151-167.
- Dorren, L.K.A. ve F. Berger, 2005.** Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall effects. *Tree Physiology*. 26:63-71.
- Dorren, L.K.A., F. Berger, C. Le Hir, E. Mermin ve P. Tardif, 2005.** Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *Forest Ecology and Management*. 215:183:195.
- Dorren, L.K.A. ve F.Berger, 2006.** Panarchy and sustainable risk prevention by managing protection forests in mountain areas. RISK21 Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century. Taylor and Francis Group, London.
- Duarte, R.M. ve J. Marquinez, 2002.** The influence of environmental and lithologic factors on rockfall at a regional scale: an evaluation using GIS. *Geomorphology*. 43 (1):117-136.
- EOMF, 2000.** White Book 2000 on mountain forests in Europe. European Federation of Local Forest Communities, Saint Jean d'Arvey: 60 pp.
- Frehner, M., B.Wasser ve R.Schwitler, 2005.** Nachhaltickkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldernmit Schutzfunktion. (BUWAL), CH-3003 Bern.
- Gsteiger, P., 1989.** Steinschlag, Wald, Relief. Empirische Grundlagen zur Steinschlagmodellierung, Geographisches Institut, Universitat Bern.
- Gsteiger, P., 1993.** Steinschlagschutzwald: Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*. 144(2):115-132.
- Heidenreich, B., 2004.** Small and Half Scale experimental studies of rockfall impacts on sandy slopes. Ph.D.Thesis, No:3059, EPFL, Lausanne.
- Hübl, J., H. Kienholz ve A. Loipersberger, 2002.** DOMODIS: Documentation of mountain disasters. Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT Schriftenreihe 1, Handbuch 1, Klagenfurt.
- Ives, J.D., B. Messerli ve E. Spiess, 1997.** Mountains in the World: A Global Priority. Carnforth-Parthenon.
- Jahn. J., 1988.** Entwaldung und Steinschlag. International Congress INTERPRAEVENT 1988: Graz; Proceedings,. 1:185-198.
- Kräuchi, N., P. Brang ve W. Schönenberger, 2000.** Forests of mountainous regions: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*. 132: 73-82.
- Le Hir, C., F.Berger, L.K.A. Dorren ve C.Quetel, 2004.** Forest: A natural means of protection against rockfall, but how to reach sustainable mitigation? Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004. Riva/Trient.

- Marquinez, R., R.M. Duarte, P. Farias ve M.J. Sanchez, 2003.** Predictive GIS-based model of rockfall activity on mountain cliffs. *Natural Hazards*. 30(3):341-360.
- Matsuoka, N. ve H. Sakai, 1999:** Rockfall activity from an alpine cliff during thawing periods. *Geomorphology*. 28:309-328.
- McClung, D.M., ve P. Schaerer, 1993.** The Avalanche Handbook. The Mountaineers, Seattle.
- Motta, R., ve J.C. Haudemand, 2000.** Protective forests and silvicultural stability an example of planing in the Aosta valley. *Mountain Research and Development*. 20(2):180-187.
- Omura, H., ve Y. Marumo. 1988.** An experimental study of the fence effects of protection forests on the interception of shallow mass movement. Mitt. Forstl. Bundesvers. anst. Mariabrunn Wien 159:139-147.
- Perret, S., F. Dolf ve H. Kienholz, 2004.** Rockfalls into forests: analysis and simulation of rockfall trajectories – considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. *Landslides*. 1:123-130.
- Perret, S., Baumgartner, M., Kienholz, H. 2005.** Inventory and analysis of tree injuries in a rockfall-damaged forest stand. *European Journal of Forest Research*. 125(2):101-110.
- Price, M. ve N. Butt, 2000:** Forests in Sustainable Mountain Development. IUFRO Research Series No: 5
- Ritchie, A. M., 1963:** Evaluation of Rockfall and its Control. Highway research record 17, pp. 13-28, Washington, USA
- Sağ, M.B., 2002:**Türkiye'deki Yüksek Dağ Ormanlarının Planlama İlkeleri. İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Schneebeli, M., ve P. Bebi, 2004.** Snow and Avalanche Control. Encyclopedia of Forest Sciences, vol. 1 Elsevier Academic Press.
- Schönenberger, W., A. Noack ve P.Thee, 2005.** Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *Forest Ecology and Management*. 213:197-208.
- Schweigl, J., C.Ferretti, L Nössing, 2003:** Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope: a practical case study from South Tyrol (Italy). *Engineering Geology*. 67(3):281-296.
- Selby, M.J., 1982.** Hillslope Material and Processes. 2nd Rev. Edition, Oxford University Press.
- Smith, M.J., ve D.M. McClung, 1997.** Avalanche frequency and terrain characteristics at Roger Pass, B. C., Canada. *Journal of Glaciology*. 43 (143):165-171.
- Stoffel, M., D. Schneuwly, M. Bollschweiler, I. Lievre, R. Delaloye, M. Myint ve M. Monbaron, 2005 a :** Analyzing rockfall activity (1600-2002) in a protection forest- a case study using geomorphology. *Geomorphology*. 68:224-241.
- Stoffel., M., I.Lievre, M. Monbaron, F. Perret ve S.Perret, 2005 b :** Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Swiss Alps)- A dendrochronological approach. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 49(1):89-106.

- Stokes, A., F. Salin, A.D. Kokutse, S. Berthier, H. Jeannin, S. Mochan, L. Dorren, M. Abd.Ghani ve T. Fourcaud, 2005:** Mechanical resistance of different tree species to rockfall in the French Alps. *Plant and Soil*. 278(1-2):107-117.
- Tavşanoğlu, F., 1961.** Türkiye’de çığ gelen, taş ve kaya yuvarlanan yerlerin belli edilmesi. *İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, Seri A*. 1(1).
- Uzunsoy, M.O., E. Görçelioğlu, 1985.** Havza Islahında Temel İlke ve Uygulamalar. İ.Ü.OF Yay. İ.Ü.Yay. No:3310, O.F. Yay. No: 371, İstanbul.
- van, STEIJN, H., 1996:** Debris flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe. *Geomorphology*. 15:259-273.
- Vospernik, S., 2002.** Predicting Forest’s Protection Against Rockfall. Final Report, Institute of Forest Growth and Yield, BOKU, Vienna.
- Wehrli, A.R., 2005:** Mountain forest dynamics and their impacts on the long-term protective effect against rockfall - A modelling approach. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Diss. Eth. No: 16358