

## Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri

Remzi Eker<sup>a,\*</sup>, Abdurrahim Aydın<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Düzce

\* İletişim yazarı/Corresponding author: remzieker@duzce.edu.tr, Geliş tarihi/Received: 19.09.2013, Kabul tarihi/Accepted: 14.01.2014

**Özet:** Özellikle dağlık bölgelerde ortaya çıkan stabilite problemlerinin olumsuz sonuçlarından dolayı, heyelanlar üzerindeki etkileri bakımından ormanların ve ormancılık faaliyetlerinin önemi ormanların koruma fonksiyonu ile birlikte giderek artmaktadır. Ormanlar ve ormancılık faaliyetleri (ağaç kesimi, yol inşası gibi) heyelan kaynaklı stabilite problemleri açısından literatürde çeşitli yönleriyle çalışılmıştır. Ancak orman örtüsünün mevcudiyetinin etkileri ile ormancılık faaliyetlerinin heyelanlar üzerindeki etkilerinin nasıl ve ne yönde olduğuna dair yapılan çalışmaların temel alınarak tartışıldığı bir derleme çalışmaya ihtiyaç olduğu dikkat çekmektedir. Bu makalede bu ihtiyaç göz önüne alınarak orman-heyelan ve ormancılık-heyelan konularında uluslararası düzeyde yapılan çalışmalar incelenerek tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Heyelan, Orman, Ormancılık, Vegetasyon

## The effects of forests on landslides

**Abstract:** Especially because of adverse results of stability problems in mountainous regions, in point of their effects on the landslides, the importance of forests and forestry activities as well as their protection function has been increased. Forests and forestry activities such as logging and road construction in terms of landslide related problems have been studied in literature with different aspects. However, it attracts the attention that is needed to a review article which discuss why and how forest and forestry activities affect the landslide occurrence. In this article, studies made in international levels were discussed by analyzing based on the subjects of forest-landslide and forestry-landslide.

**Keywords:** Landslide, Forest, Forestry, Vegetation

### 1. Giriş

Doğal çevrenin korunmasında önemli rol oynayan orman alanlarının tahrip edilmesi, dünya ölçeğinde çevresel endişe uyandırmaktadır. Orman alanlarının kayıplarında, yangın gibi doğal sebepler lokal ölçekte önemli etkilere sahip olabilseler de, ana sebep artan antropojenik baskılardır (Barthurst vd., 2007). İnsanların nüfus artışıyla gelişen doğal çevre üzerindeki tahribatlarına paralel olarak, doğal afetlerin sayı, büyüklük ve sıklıklarında artış meydana gelmektedir. İyi gelişmiş bir orman örtüsünün, dağlık bölgelerdeki dik yamaçlarda toprak erozyonu, heyelanlar (özellikle sığ heyelanlar) ve çığlar gibi doğal afetlerin oluşumunu maksimum seviyede azaltabildiği birçok çalışmada ifade edilmektedir (Barthurst vd., 2010; Berger ve Rey, 2004; Innes, 2004; Sakals vd., 2006). Dağlık alanlarda yaşayan halk tarafından da çeşitli doğal afetlere karşı ormanların koruyucu özellikleri en önemli fonksiyonlarından biri olarak kabul edilmektedir (Schönenberger, 2001). Ormanlar doğal afetlere karşı etkin bir koruma sağlayamazlarsa da, elbette ki afetlerin tüm zararlarına karşı tam koruma sağlayamayabilirler (Brang vd., 2001). Ancak yine de korunma, özellikle Avrupa Alpleri gibi dağlık alanlarda, insan nüfusu ve faaliyetleri açısından hayati önem teşkil etmektedir. Hatta orman örtüsünün bulunmaması halinde vadilerin çoğunda yerleşimin mümkün olmayacağı belirtilmiştir (Motta ve Haudemand, 2000; Schönenberger, 2001). Yine İsviçre'nin tamamen ormansızlaşması durumunda gelecek 50 yılda sadece

çığlardan doğacak hasarın yaklaşık 60 milyar Avroyu bulabileceği ifade edilmektedir (Schönenberger, 2001). Aynı şekilde, Türkiye'deki dağlık bölgelerde de doğal afetlerin zararlarının azaltılmasına yönelik ormanların koruyucu fonksiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Aydın, 2007).

Yeryüzünün %24'ünü kaplayan (Price ve Butt, 2000) dağlık alanlarda sıklıkla görülebilen doğal afetlerden biri de heyelanlardır. Eğimli arazi yapısı, hassas topraklar, şiddetli yağışlar ve deprem aktiviteleri bu alanları heyelanlara karşı duyarlı hale getirmektedir. Ormanlar ile kaplı böyle alanlarda yamaçların stabilizasyonu önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu alanlarda nüfusun artması, yapılaşmanın genişlemesi, ormancılık ve zirai faaliyetlerin yaygınlaşması ile heyelanların önemi her geçen gün artmaktadır (Forbes ve Broadhead, 2011). Çünkü heyelanlar ölüm ve yaralanmalara neden olmakta, yerleşim ve sanayi alanları ile altyapı tesislerine ağır ekonomik zararlar vermektedir. Yamaç stabilitesinin çok kırılgan bir dengeye sahip olduğu (Abe ve Ziemer, 1991) bu alanlarda, heyelanların meydana gelme sıklıkları ve boyutları alan üzerindeki vejetasyon ile yakından ilgilidir. Ormanlar, yamaç stabilizasyonu açısından en iyi arazi kullanım sınıfı olarak kabul edilmekte (Begueria, 2006; Kubota vd., 2007) ve erozyon kontrolü ile yamaç stabilizasyonu için bitkilendirme en etkin yöntem olarak değerlendirilmektedir (Ali vd., 2012; Mafian vd., 2009). Dik arazilerde orman örtüsünün kaybolması, yüzeysel akıştaki artış, oyuntu oluşumu ve heyelanlar ile toprak erozyonunda artışa sebep

olmakta ve sonucunda akarsu sistemlerine sediment taşınımında ve havzanın sediment veriminde artış meydana gelmektedir (Bathurst vd., 2007). Bu nedenlerden dolayı son yıllarda orman örtüsünün yamaç stabilitesi üzerindeki etkileri araştırmalara konu olmaktadır (Bathurst vd., 2007; Brardinoni vd., 2002; Sidle, 2008; Steinacher vd., 2009).

Bu makalede, kütle hareketlerinin tanımına, sınıflandırılmasına ve oluşum süreçlerine kısaca değinildikten sonra ormanların ve ormancılık faaliyetlerinin heyelan oluşumu ve yamaç stabilizasyonu üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amacıyla literatürde yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Ormanlık yamaçlar ile açık alanların heyelan tipleri, sayı, frekans ve yoğunlukları açısından karşılaştırıldığı çalışmalar değerlendirildikten sonra orman örtüsünün heyelan mekanizması üzerindeki etkisinin nasıl olduğu tartışılmıştır. Orman varlığının heyelan oluşumunda olumlu etkilerinin yanı sıra olumsuz etkileri de nedenleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Ormancılık üretim faaliyetlerinden ağaç kesiminin etkisi incelenmiş, ayrıca ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla inşa edilen yolların etkileri değerlendirilmiştir. Ormanların heyelan koruma fonksiyonları kapsamında ise ne tür özelliklere sahip olması gerektiği ve bu fonksiyona sahip ormanların yönetim organizasyonu ifade edilmiştir.

## 2. Heyelan tanımı ve sınıflandırılması

Heyelan terimi, genel olarak yamaç ve şevleri oluşturan toprak ve kayanın yer çekiminin etkisi altında eğim aşağı hareketini ifade etmektedir (Görçelioğlu, 2003). Cruden (1991) tarafından heyelan (Şekil 1) "kaya, toprak zemin veya molozların aşağı hareketi" şeklinde tanımlanmıştır. Bu terim, çamur akmaları, çamur kaymaları, moloz akmaları, taş-kaya yuvarlanmaları, moloz çığları ve toprak akmaları gibi geniş kütle hareketi tiplerini kapsamaktadır. Tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında çeşitli görüş ve öneriler olsa da (Görçelioğlu, 2003), heyelanlar genel olarak hareketin oluş şekillerine ve materyal tiplerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Literatürde yaygın şekilde kullanılan sınıflandırma Varnes (1978)'e ait sınıflamadır (Çizelge 1). Heyelanlar derinliklerine bağlı olarak ise sığ ve derin heyelanlar olarak değerlendirilmektedir (Frehner vd., 2007). Buna göre sığ heyelan, kayma düzlemi derinliği 0-2 m

arasında, kayma alanı genellikle küçük (çoğunlukla <0.5 ha) ve yaklaşık 25°'nin üzeri eğimli yamaçlarda gelişen kısa süreli olaylar şeklinde tanımlanmaktadır. Derin heyelan ise, kayma düzlemi derinliği 2-10 m veya >10 m, kayma alanı büyük (0.5 ha'dan birkaç km<sup>2</sup>'ye değişebilen) olaylar olarak tanımlanmaktadır. Derin heyelanların süreçleri aktivitelerine bağlı olarak yıllarca veya yüzyıllarca devam edebilmektedir.

Heyelanlar, kütlelerin yamaç aşağı hareketine neden olan sürükleyici kuvvetlerin, kütlelerin hareketini önleyen tutucu kuvvetlere eşit olması ya da bu kuvvetleri aşması durumunda ortaya çıkmaktadır. Heyelan oluşumuna neden olan faktörler genel olarak doğal ve insan kaynaklı olarak sınıflandırılan büyük ve karmaşık çevresel faktörler kümesidir (Carrara vd., 1999). Heyelana neden olan doğal etmenler; yoğun yağışlar veya kar erimelerine bağlı olarak taban suyu seviyelerindeki artışlar, nehir ve baraj havzalarında su seviyelerindeki azalmalar, erozyona neden olan yüzeysel akış hareketleri, toprak kütlelerinin yan ve topuk desteklerinin su seviyelerindeki dalgalanmalar ve akış hareketlerine bağlı olarak kalkması ve depremler ile volkanik aktivite kaynaklı sarsıntular olarak kabul edilmektedir (Anonim, 2006). İnsan kaynaklı faktörler ise tutucu kuvvetlerin azalmasına neden olan ve boşluk suyu basıncını artıran tarım vb. faaliyetler, bitki örtüsünün ortadan kaldırılması ve şev açılarının artmasına neden olan inşaa çalışmaları gibi faaliyetlerdir (Anonim, 2006).



Şekil 1. Heyelan görüntüsü (Yığılca-Düzce)

Çizelge 1. "Kütle hareketlerinin sınıflandırılması (Varnes, 1978)" (Dikau vd., 1996)

Hareketin Tipi	Malzemenin Türü		
	Ana Kaya	İşlenmiş toprak	
		Ağırlıklı olarak kaba	Ağırlıklı olarak İnce
Düşme	Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak düşmesi
Devrilme	Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya çökmesi	Moloz çökmesi
	Ötelenmeli	Kaya blok kayması	Moloz blok kayması
Yanal yayılma	Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
Akma		Kaya akması	Moloz akması
		(Derin Krip)	(Toprak Kripi)
Karmaşık	İki veya daha fazla temel kütle hareketlerinin kombinasyonu		

### 3. Ormanlar ve heyelanlar

Ormanların heyelan aktiviteleri üzerindeki etkileri çok sayıda faktöre bağlı olmasından dolayı oldukça karmaşıktır (Mulder vd., 1987). Çünkü heyelanların meydana gelmesinde çok sayıda faktörün rolü söz konusudur. Heyelanın oluşumu anakayanın fiziksel özelliklerinin belirlediği jeolojik devirlere dayanmakta olup yer kabuğu hareketleri, erozyon, iklim koşulları etkisiyle aşınma vb. gibi dış olaylara da bağlıdır (Atalay ve Bekaroğlu, 1973). Orman örtüsü heyelanlara karşı duyarlılığı artırabileceği gibi çoğu durumlarda olumlu yönde etki göstermektedir (Rice, 1977). Tahrip edilmemiş ormanlar ile kaplı havzalarda heyelan oluşumu genellikle düşüktür (Forbes ve Broadhead, 2011). Duan ve Grant (2000), doğal yaşlı ormanlar ile kaplı yamaçlarda, tamamen açık alanlara göre, daha az duraysızlaşma meydana geldiğini ifade etmektedir. Yine Rickli ve Graf (2009), ormanlık alanlar ile açık alanları karşılaştırdıkları çalışmada, açık alanların daha yüksek sığ heyelan yoğunluğuna sahip olduğunu ifade etmektedir. Yüzyıllarca devam eden yapılaşma ve arazi kullanımına bağlı olarak, ormanlık alanların heyelana muhtemel duyarlı dik arazilerde bulunduğu dikkat çeken Rickli ve Graf (2009), nadiren ağaçların ağırlıkları ve uygun olmayan rüzgarın etkisiyle stabiliteyi azaltıcı yönde olumsuz etkilere sahip olsalar da, ormanlık yamaçların, açık alanlara göre daha stabil olduklarını ifade etmektedir.

Heyelanın kayma düzleminin derinliği ile ormanların heyelanlar üzerindeki etkileri arasında oldukça önemli bir ilişki söz konusudur. Ormanlar, sığ heyelanların meydana gelmesini önlemede çoğunlukla etkili iken, derin heyelanların meydana geldiği alanlarda olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Steinacher vd., 2009). İdeal yapıdaki bir orman sığ heyelanları tamamen önleyemese de önemli ölçüde azaltabilmektedir. Ancak eğimin 40°'nin üzerine çıkması durumunda ise etkileri önemli ölçüde azalmaktadır (Frehner vd., 2007). Buna rağmen ormanlık alanlarda heyelanların meydana geldiği ortalama eğim açık alanlara göre %10 daha fazladır (Brardinoni vd., 2002). Çalışma alanlarında heyelanların 19°-50° eğimlerde ancak baskın olarak 25°-45° eğimlerde meydana geldiğini belirten Rickli ve Graf (2009), açık alanlara göre ormanlık alanlarda daha dik eğimlerde heyelanların başladığını ifade etmektedir. Jakob (2000), kesim yapılan alanlarda heyelanların çoğunlukla 30°-40° eğim sınıfında, kesim yapılmayanlarda çoğunlukla 30°'den büyük eğim sınıflarında görüldüğünü ifade etmektedir. Ayrıca kesim yapılmayan alanlarda tüm heyelanların yarısından fazlasının da 40°'den daha dik yamaçlarda meydana geldiğini belirtmektedir. Her ne kadar Jakob (2000), çalışmasında büyüklükleri açısından önemli farklılık bulamamışsa da heyelanlar ormanlık alanlarda meydana geldiklerinde açık yamaçlara göre daha büyük ve yıkıcı olabilmektedirler (Bathurst vd., 2007). Ormanlık alanlardaki heyelanların daha yıkıcı doğaya sahip olmaları vejetasyonun yüksek oranda kök bağlaması ile açıklanmaktadır. Çim örtüsü ile kaplı alanlarda zayıf kök bağlama etkisinden dolayı heyelan oluşumu daha ziyade kohezyon ile kontrol edilmektedir (Bathurst vd., 2007). Bundan dolayı da başlama alanları daha küçük olmaktadır. Ormanlık alanlarda ise yüksek kök direncinden dolayı göçmenin meydana gelebilmesinde toprak kohezyonunun zayıflatılması için yüksek miktarda enerji gerekecektir. Bunun için de daha büyük alanlarda duraysızlaşma meydana

gelmelidir. Orman örtüsünün yaşı da heyelanlar ile etkileşiminde önemli olmaktadır. Yaşlı orman vejetasyonları gelişmiş kök sistemlerine sahip olduklarından heyelan kaynaklı erozyon ve derelere sediment taşınımını genç ormanlara göre 4-5 kat azaltmaktadır (Sidle, 2008). May (2002) çalışmasında, 0-90 yaş aralığındaki meşcerelerde heyelan yoğunluğu  $\text{km}^2$ 'de 8.2 iken 100 yaşından büyük ormanlarda  $\text{km}^2$ 'de 5.2 olduğunu ifade etmektedir. Aynı şekilde Turner vd., (2010)'da araştırmalarında, heyelan yoğunluğu ile meşceredeki yaş artışı arasında negatif bir eğilim olduğunu ve on yaşından küçük meşcerelerde iki kat fazla yoğunlukta heyelan tespit ettiklerini belirtmektedirler. Philips vd., (1989) daha genç egzotik çam plantasyonlarının (1-5 yaş aralığında) yaşlı doğal ormanlara ya da 8 yaşından büyük egzotik çam plantasyonlarına göre 8 kat daha fazla heyelan kaynaklı erozyona maruz kaldığını ifade etmektedir.

Çalışmalarda ifade edildiği şekliyle ormanlar heyelanlar üzerinde etkili olabilmektedir. Ancak bunların yanı sıra heyelanların da meydana geldikleri ormanlık alanlarda bitkiler üzerindeki etkileri de söz konusudur. Meydana gelen heyelanların orman vejetasyonun çeşitliliği ve gelişimi açısından etkileri farklı etmenlere bağlı olarak değişmektedir. Heyelanlar meydana geldikleri alanın (lokal iklim, topografya ve toprak özellikleri nispeten aynı olan arazi parçası) koşullarını daha kuru veya ıslak, daha taşlı veya çamurlu, daha süzek veya az geçirgen, daha güneşli ve daha açık (korunmasız) yapma şeklinde genellikle değiştirmektedir (Geertsema ve Pojar, 2007). Alanın koşullarında meydana gelen değişiklikler de daha sonra bu alanlardaki toprakların gelişimini değiştirmektedir. Alan ve toprak koşullarındaki değişimler ise sonuçta arazi ölçeğinde habitat çeşitliliğinde artışa sebep olmaktadır. Heyelanlar toprak çeşitliliğini öncelikli olarak ana materyali (C Horizonu) açığa çıkararak ya da bazı durumlarda organik madde ve A horizonlarını uzaklaştırarak değiştirmektedir. Heyelanların toprak koşullarındaki en önemli değişikliklerinden biri toprak tekstüründe olmaktadır (Geertsema ve Pojar, 2007). Çünkü heyelan olayı meydana geldiği alana farklı materyal taşımakta ya da alandan materyalin uzaklaşmasına neden olmaktadır. Alana farklı materyalin taşınımı alanda materyalin alttan yüzeye doğru hareketi ile olabilmektedir. Heyelanlar ayrıca lokal toprak hacim ağırlığı ve porozitesini değiştirebilmektedir. Yoğrulan ve sıvılaştıran kil ve tozların yoğunluğu artar ve porozitesi düşer. Dağlık arazilerdeki kolüviyal yamaçlarda ise aksine toprağın porozitesi heyelan kütlesi ile odun parçalarının karışmasından dolayı artabilmektedir. Heyelanlar bunlara ilaveten alanın toprak kimyasını da değiştirebilmektedir (Geertsema ve Pojar, 2007). Yabancı materyalin birikmesi ile toprak kimyası değişebileceği gibi derindeki materyalin açığa çıkması ve yüzey malzemenin ayrışması da buna sebep olabilmektedir. Bütün bunlara bağlı olarak heyelanlar habitat çeşitliliğinde farklı roller oynamaktadır. Farklı yaş ve kökenli heyelanlar araziler üzerinde süksesyonel dönem mozaikleri oluştururlar. Burn ve Friele (1989), Mayo (Yukon, Kanada) yakınlarındaki sürekli donmuş (permafrost) bir arazide yaptıkları çalışmada öncü topluluklardan 40 yaşındaki ormanlara değişen yedi farklı vejetasyon birimi olduğunu tespit etmişlerdir. Smith vd. (1986), Queen Charlotte Adalarında (British Columbia) moloz kayma ve akmalardaki vejetasyon gelişimini çalışmışlardır. Bu çalışmada, 49 adet heyelan üzerinde 8 vejetasyon grubu gözlemlenmişler ve farklılıkların öncelikle

heyelanın yaşı ve konumuna bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Heyelan olayından itibaren geçen zaman arttıkça türlerin hem kompozisyonlarının hem de kapladıkları yüzdelerin değiştiği ifade edilmektedir. Örneğin, alanda ilk koloni oluşturan bitkilerin eğreltiotu ve çalılık olduğu (%1-11 oranında), daha sonra genç ağaçların (Kızılağaç, Batı tsugası ve Sitka ladini) takip ettiği (%16'dan daha fazla oranda) belirtilmiştir. Kızılağaç meşcerelerinin yaklaşık 50 yıl baskın olarak kaldığı daha sonra her dem yeşil ibrelili türlerin hegemonyası altında yaşamaya başladıkları ve kızılbaşın yok olması sırasında Sitka ladinlerinin baskın hale geldiği belirtilmektedir. Moloz kaplı daha yukarı alanlarda veya anakayanın ortaya çıktığı yamaçlarda ise kızılbaşın alanda yer almaz iken heyelanları Sitka ladini ve tsuga çamının işgal ettiği ifade edilmektedir. Lewis (1998) tarafından step kaplı Kathul Dağında (Alaska) yapılan çalışmada heyelan sahalarında heyelan sonucunda ortaya çıkan mineral toprak ile heyelanın pürüzlü yüzeylerinde tutulan kardan dolayı oluşan nemin titrek kavakların yetişmesine uygun koşullar oluşturduğu aksi takdirde titrek kavakların heyelan olmayan alanlardaki step bitkileri ile mücadele edemediği ifade edilmektedir.

#### 4. Ormanlar heyelanları nasıl önler?

Ormanların koruyucu fonksiyonları hem toprak altı hem de toprak üstü süreçleri etkilemektedir (Sakals vd., 2006). Vegetasyon yamaç ve şevlerde yüzeysel erozyona karşı en iyi uzun vadeli korumayı sağlamakta, sığ kitle hareketlerine karşı ise bir dereceye kadar engelleyici/güçlendirici rol oynamaktadır (Görcelioğlu, 2004a). Orman örtüsü yamaçların stabilitesini 1) kök sisteminin gelişimine bağlı olarak mekanik stabilizasyon, 2) transpirasyon ve intersepsiyon sonucunda toprak neminin azalması, 3) toprağa çakılı kazıklar gibi görev yapan ağaç gövdelerinin payanda ve kemer etkisiyle toprağı desteklemesi, 4) ağaçların ağırlıklarından kaynaklanan fazla yük ve 5) rüzgarı tutma şeklinde çeşitli yollarla etkilemektedir (O'Loughlin, 1974; Nilaweera ve Nutalaya, 1999; Görcelioğlu, 2004a). Orman örtüsünün yamaçların stabilizasyonundaki etkileri genel olarak hidrolojik etkiler ve mekanik etkiler olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Chok, 2008). Hidrolojik etkiler vegetasyonun var olması durumundaki hidrolojik döngü ile toprak nemindeki değişimler olarak açıklanabilirken, mekanik etkiler vegetasyonun varlığı ve eğim arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Bu etkiler aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

##### 4.1. Hidrolojik etkiler

Toprağın su ile doymuş hale gelmesi heyelan duyarlılığını artırmaktadır. Ormanlar toprağın nem içeriğini çeşitli şekillerde etkileyebilmektedir. Yetişkin bir orman örtüsünün ortamdaki uzaklaştırılmasını takiben toprağın nem rejimi büyük oranda değişmektedir (Rice, 1977). Bu durum kurak iklim koşullarının hâkim olduğu alanlarda daha da önemli olmaktadır. Toprak yüzeyine çarpan yağmur damlları toprak parçacıklarını sızdırmaz hale getirebilirler ve infiltrasyonu önleyen ve yüzeysel akışa neden olan bir tabaka oluştururlar. Bitkilerin dökülen yaprakları ve dalları toprak yüzeyini yağmur damllarının darbe etkisinden korurlar, suyun toprak yüzeyinde akış hızını azaltırlar ve yağışın toprak içerisine emilimini desteklerler. Bitkiler tepe

taçlarında yağışın bir bölümünü tutarak toprağı ulaşmasını önlerler ve buralardan tutulan suyun buharlaşarak tekrar atmosfere dönmelerinde rol oynarlar. Bu süreç yamaçlardaki topraklarda yağış sularının infiltrasyonunu düşürmektedir (Chok, 2008). Ayrıca bitki kökleri transpirasyon süreci ile de toprağın nem içeriğini azaltmaktadırlar. Orman örtüsünün yok olması ile havzanın depolama kapasitesi azalacağından ve yüzeysel akışa katılan toplam su miktarında oran olarak artış olacağından pik akışlar meydana gelecektir (Church ve Eaton, 2001). Ağaçların %10'u yok edilen bir ormanda yüzeysel akışa katılan su miktarında ortalama 25 mm artış görülürken, çalı ve ağaççıklar yok edildiğinde ise ortalama 10 mm artış meydana gelmektedir (Church ve Eaton, 2001).

Ormanın toprak nemini düşürebildiği kabul edilmesine rağmen, yamaç stabilitesindeki etkilerinin daha ziyade mekanik olduğu kabul edilerek değerlendirilmektedir (Chok, 2008; Keim ve Skaugset, 2003). Steinacher vd., (2009), ormanların yamaç stabilizasyonu üzerindeki hidrolojik etkilerinin çoğunlukla olumlu olduğunu ifade etmektedir. Yoğun ve uzun yağış dönemlerinde infiltrasyon ile pozitif boşluk basıncının gelişimi, her ne kadar bazı bölgelerde depremler ve volkanik sarsıntılar gibi diğer faktörler de etkin olsalar heyelanların oluşumunda esas tetikleyici mekanizma olarak kabul edilir (Kumar ve Bhagavanulu, 2008; Begueria, 2006). Bitkilerin intersepsiyon ve evapotranspirasyonu artırmaları yamaçların stabilizasyonunu büyük oranda iyileştirmektedir (Chok, 2008).

##### 4.2. Mekanik etkiler

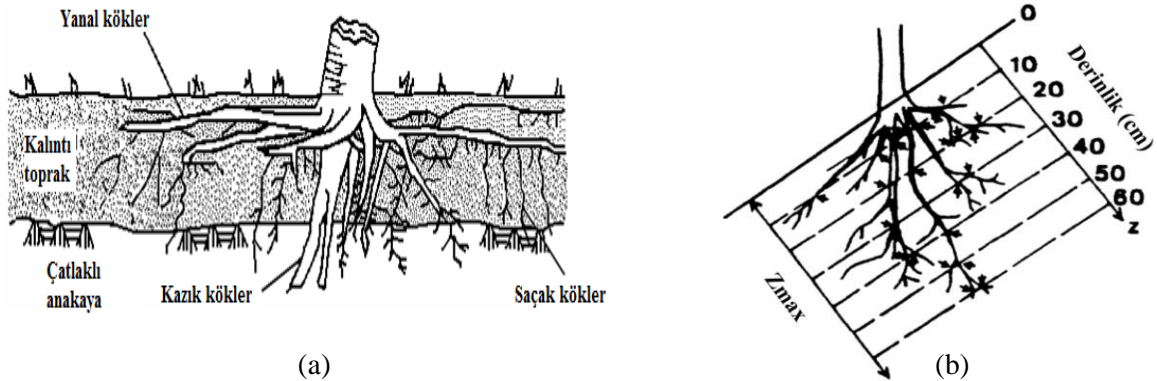
Ormanların yamaçların stabilitesi üzerindeki fiziksel etkileri çok sayıda parametreye bağlı olmalarından dolayı karmaşıktır (Steinacher vd., 2009). Orman vegetasyonu, daha doğrusu tutunma özelliğine sahip ağaç kökleri, sağladıkları gerilme direnci ile toprağı kuvvetlendirmekte ve yamaçların daha stabil olmalarına yardımcı olmaktadır (Chok, 2008; Ekanayake vd., 1997). Ağaç kökleri yamaçların stabilitesini, 1) zayıf toprak kütlelerini anakayaya sabitleme, 2) zayıf zonlardan geçerek yatay destek oluşturma ve 3) zayıf toprak kütleleri içerisinde lifli bağ görevi görme gibi mekanik etkilerle güçlendirmektedir (Ziemer, 1981a; Ziemer, 1981b; Abe ve Ziemer, 1991). Sadece yüzey erozyonuna karşı yamaçın yüzeyini değil, sığ göçmelerin kontrolünde toprak tabakalarını da güçlendirirler (Kubota vd., 2007). Derin köklü ağaç ve çalılar, sığ ve hızlı kütle hareketlerinin oluşumunu azaltmaktadırlar (Forbes ve Broadhead, 2011). Toprak derinliği sığ olduğunda, bitkilerin sağladıkları kök direncinin stabilite üzerindeki etkisi daha fazla olmaktadır (Tosi, 2007). Sığ topraklarda tüm toprak tabakasına girebilen yanal kökler daha stabil tabakalara tutunmak suretiyle etkili olmaktadır (Forbes ve Broadhead, 2011). Toprak stabilitesinin artırılmasında kök sisteminin etkisi üç mekanizmaya dayanmaktadır (Hairiah, 2006). Bunlar: 1) kök sistemlerinin yüzey tabakalarda sağladıkları kohezyon artışı ile toprak partiküllerinin birbirine bağlanma derecelerini artırarak yüzeysel akışa katılımlarını azaltması, 2) yüzey tabakalardaki köklerin kopma mukavemetinin maksatlaşma gerilimi direncini artırarak dere kıyıları, yol kenarları, kanalları ve doğal su yollarındaki riskleri ortadan kaldırması ve 3) derin kök sistemlerinin ağaç gövdelerine, fırtına baskısına karşı yüksek kök direnci sağlayarak toprağı

bağlayıcı etki etmesidir. Bischetti vd., (2009) vejetasyonun stabilite üzerindeki etkilerinin bitki türlerinin genetik özellikleri ve çevresel faktörler ekseninde kök gelişimine bağlı olduğunu ifade etmektedir. Toprak derinliğine bağlı olarak kök hacminin kademeli olarak azaldığını ifade eden Abe ve Ziemer (1991)'e göre maksimum köklenme derinliğinin sınırlanmasında etkili olan faktörler; anakayanın varlığı, toprak porozitesi, toprak nemi, toprak strüktürü, toprak bağlılığı (soil consistency) ve toprak verimliliğidir. Yaptıkları çalışmada Abe ve Ziemer (1991), *Criptomeria japonica* meşcerelerinde kök dağılımları ile derinlik arasındaki ilişkinin (Şekil 2) ortaya konulabilmesi için toplam köklenme derinliğini alt, orta ve üst zon olmak üzere üç farklı sınıfa ayırmıştır. Buna göre üst zonda çapları geniş dağılım gösteren yanal kökler mevcuttur. Alt zonda kökler dikey yönde gelişme göstermekte ve bu zonda çapları 1 cm'den büyük az sayıda kök bulunmaktadır. Orta zonda ise köklerin genellikle dikey ve diyagonal olarak geliştiği tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada bir ağacın kök hacminin %85-90'ının kök derinliğinin üst yarısında (genelde 20-50 cm derinlikte) bulunduğu ve bu köklerin ise %60-85'inin çapı 0.5 cm'den daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Potansiyel kayma düzlemine daha çok kökün nüfuz etmesi yamaçların stabil olma şansını artırmaktadır. Bundan dolayı da orman vejetasyonu sığ heyelanları önlemede etkili olabilmektedir. İnce köklerin heyelanların önlenmesinde güçlü etkiye sahip oldukları belirtilen çalışmada yamaç stabilitesini direkt olarak etkileyen köklerin çoğunun yaklaşık 1 cm veya daha küçük çaplarda olduğu ifade edilmektedir.

Müdahale edilen ormanlarda heyelan sıklığındaki eğilimler kök direncindeki değişimlerden büyük oranda etkilenmektedir (Imauzimi ve Sidle, 2008). Ağaçların kesilmesiyle canlı kökler zaman içerisinde çürümeye başlayacağından toprak zamanla zayıflamakta ve ancak çeşitli nedenlerle orman örtüsü kalkmış alana vejetasyon hakim olmaya başladığında ise toprak tabakası yeni köklerin gelişmesiyle tekrar stabil hale gelmektedir (Ziemer, 1981b). Canlı ağaç kökleri toprağın gerilme direncini 20 kPa'ya kadar destekleyebilmektedir (Hairiah, 2006). Abe ve Ziemer (1991), 40 yaşındaki bir ormanın kesilmesiyle potansiyel gerilme düzlemindeki kök içeren toprağın gerilme kuvvetinin müdahale edilmeyen alandakinin üçte birine kadar düşebileceğini ifade etmektedir. Ormanlık alanlarda ağaç kesimini takip eden 1-10 yıllık dönemde heyelan meydana gelme sıklığının 26-40 yıllık dönemdekinden 3.4 kat daha fazla olduğunu belirten Imauzimi ve Sidle (2008),

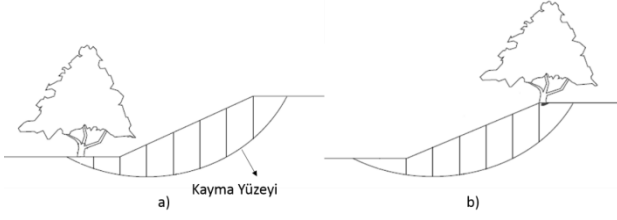
sediment veriminin ise kontrol alanlarına göre bu alanlardan 9 kat daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Keppeler vd., (2003) ağaç kesiminden yaklaşık 12 yıl sonra orman örtüsünün alana yeniden gelmesi ile yüzeysel akışın kesim öncesi koşullarına döneceğini bildirmektedir. Heyelan kaynaklı oluşan sediment miktarlarında iyileşme görülebilmesi için ise bu sürenin iki katına gereksinim olduğunu ifade etmektedirler. Imauzimi ve Sidle (2008)'de sediment miktarlarında kontrol alanlarına yakın değerlerin görülebilmesi için 26 yıla gereksinim olduğunu belirtmektedir. Sidle ve Terry (1992) ise vejetasyon uzaklaştırıldıktan sonraki 2-12 yıl içerisinde alanın heyelanlara en fazla duyarlı olacağını ifade etmektedir.

Alandaki ağaçların ağırlıkları yamaca ilave yük verebilirler (Chok, 2008; Begueria, 2006). Büyük ağaçlar kaymanın meydana gelmesi için gerekli olan gerilme stresini 2.5 kPa artırabilmektedir (Hairiah vd., 2006). Ağaçların ağırlığının yamaç stabilitesi üzerinde başlı başına olumsuz etkilerde bulunmadığını ifade eden Nilaweera ve Nutalaya (1999), kütle hareketinin şekline ve yamacın eğim derecesine bağlı olarak yararlı ya da zararlı yönlere sahip olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca yük etkisinin olumlu ya da olumsuz olması ağaçların konumlarına bağlı olarak değişmektedir (Chok, 2008). Eğer ağaçlar yamacın üst kısmında konumlanmışsa harekete neden olan aşağı yönlü sürükleyici kuvvetlerde artış meydana gelirken, aksine yamacın alt veya topuk kısımlarında konumlanmışsa oluşturacakları yatay yük gerilme mukavemetinin sürtünme bileşeninde artış meydana getirmektedir (Chok, 2008) (Şekil 3). Ali vd., (2012) yamaçlarda ağacın üç farklı pozisyonunu güvenlik faktörü açısından analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ağaçlar yamaç stabilitesini en iyi yamacın topuk kısımlarında yer alıyorsa artırmaktadırlar. Ayrıca ağaçlar yamaçlarda heyelanların meydana gelmesinde etkili olan sürükleyici kuvvetleri artıran rüzgâr yüküne konu olabilmektedir. Rüzgârdan kaynaklanan ormanın stabilite üzerindeki olumsuz etkisi, meşcerenin büyüklük ve yüksekliğine, meşcere yoğunluğuna ve rüzgârın yönüne bağlıdır (Gray, 2009). Rüzgârın büyüklüğü yeterli seviyeye ulaştığında yamacın stabilitesini azaltıcı şekilde moment oluşturmaktadır (Chok, 2008). Rüzgâr kaynaklı oluşan yük, meşcerenin büyük ağaçlardan oluşması durumunda söz konusu olmaktadır. Uzun boylu, sabit ağaçların özellikle su hatlarına yakın stabilite sorunu olan yerlerde konumlanması durumunda önemi artmaktadır.



Şekil 2. a) Bir ağacın kök yapısı (Mafian vd., 2009), b) Köklerin derinliğe bağlı dağılımı (Abe ve Ziemer, 1991).





Şekil 3. Ağacın yamaçtaki pozisyonları: a) Yamacın topuk kısmında, b) Yamacın üst kısmında

## 5. Ormanlık faaliyetleri ve heyelanlar

Bir drenaj havzasının tomruk üretimi ve diğer yönetim aktivitelerine tepkisi genel olarak drenaj havzasının biyofiziksel koşullarına, hidrometeorolojik karakteristiklerine ve antropojenik faktörlere bağlıdır (Brardinoni vd., 2002). Ormana müdahale edilmesi, özellikle ağaç kesimi, dere kanallarının üst tarafındaki yamaçlarda heyelan oranlarını (özellikle sığ ve hızlı kütle hareketlerini) artırmaktadır (Sidle vd., 1985). Ağaç kesimi yamaç stabilitesini kök direncini yok ederek veya azaltarak, alandaki tahribatın artmasına neden olarak ve suyun alandaki infiltrasyonunu ve taşınımını değiştirerek etkilemektedir (Brardinoni vd., 2002). Dhakal ve Sidle (2003) çalışmalarında, bu durumu simülasyonunu yaptıkları üç farklı üretim tekniğini 50 yıllık dört farklı rotasyondaki etkilerini karşılaştırarak göstermişlerdir. Bu teknikler; 1) Her bir rotasyonun ilk yılında alanın %100'ünde tıraşlama kesimi veya %75-90 oranında aralama kesimi, 2) Her bir rotasyonun başlangıcında alanın %50'sinde tıraşlama kesimi veya %90 oranında aralama kesimi ve 3) Her bir rotasyonun başlangıcından itibaren her 10 yılda alanın %20'sinde tıraşlama kesimi veya %90 oranında aralama şeklindedir. Çalışmanın sonuçlarına göre alanda uygulanan diğer kesim tekniklerine göre %75 oranında aralama yapılması ile heyelan hacimlerinde önemli bir artış bulunamamıştır. Ancak aralama kesimi yapılması durumunda tıraşlama kesimine göre daha düşük (1.4-1.6 kat oranında) heyelan hacimleri oluşmaktadır. Yine çalışmada aralama oranı %75'ten %90'a çıktığında heyelan hacimlerinin 2.8 kat arttığı ortaya çıkmıştır. Çalışmada bulunan bir diğer sonuçta, üretimin alanın tamamı yerine %50'sinde yapılması durumunda hem tıraşlama hem de aralama yapılan alanlarda heyelan hacimlerinin beklenen şekilde daha düşük olduğudur. Jakob (2000) de çalışmasında, incelediği heyelanların yaklaşık yarısının (%49'u) ağaç kesimine bağlı olduğunu ifade etmektedir. Her ne kadar toplam ormanlık alanın %10'unda ağaç kesimi uygulanmışsa da, bu alanların heyelan sıklığı doğal ormanlara göre 9 kat daha fazla bulunmuştur. May (2002)'de çalışmasında, yetişkin ormanlar ile karşılaştırıldığında benzer büyüklüklerde olmalarına rağmen tıraşlanmış alanlarda heyelan yoğunluklarının yüksek olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada ayrıca tıraşlanmış alanların tüm heyelanların %40'ını içerdiği, moloz akmalarının ise ormanlık alanlardakinin iki katından fazla olduğu ifade edilmektedir. Bunların aksine Bawcom (2007) çalışmasında, tıraşlama kesimi yapılan alanlarda yeni heyelan oluşumunda veya durağan heyelanların yeniden aktif hale gelmesinde önemli bir artış olmadığını ve alandaki heyelanların büyük bir bölümünün yollar ve arazi çalışmaları kaynaklı olduğunu ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar tıraşlama kesimlerinin

heyelan oluşumunu artırdığını gösterse de, her bir çalışmada üretim faaliyetlerinin etkisi farklılık göstermektedir. Bu farklılık saha koşulları (jeoloji, fizyografi ve iklim gibi) ve ağaç koşullarına (tür ve ağacın büyümesindeki çevresel faktörler) bağlı olarak oluşmakta ve etkinin şiddet ve süresi değişiklik göstermektedir (Imauzimi vd., 2008).

Ormanlık işletme amaçlarının gerçekleştirilmesi için yapılan yol inşası çalışmaları da derin ve sığ heyelanların meydana gelmesine veya daha önce oluşmuş heyelanların yeniden aktif olmasına sebep olarak (Sidle vd., 1985) dağlık alanlarda stabilite sorunları ortaya çıkarmaktadır. Görçelioğlu (2004b), yol inşasının gerekli koruyucu önlemler alınmaz ve yeterince tedbir alınmazsa erozyon, sel, taşkın, heyelan ve sedimantasyon gibi olumsuz sonuçlara neden olacağını ifade etmektedir. Pantha vd., (2008) de yol inşası gibi mühendislik uygulamalarının yamaçların stabilitesini olumsuz şekilde etkileyebileceğini ifade etmektedir. Yol inşası doğrudan ve dolaylı olarak ormanların yok olmasına sebep olmaktadır (Haigh vd., 1995). Heyelana duyarlı olan dağlık arazilerde yol inşa etmek, yamaçta ek yük oluşturması, yapılan kazı ve dolgu yüzeylerinin arazinin yapısına bağlı olarak yüksek eğimli olması, kazı şevlerinin yamaçın topuk desteğini ortadan kaldırması ve yamaçın hidrolojisini suyun hareketini etkilemek suretiyle değiştirmesi ile stabiliteyi azaltmaktadır (Sidle vd., 1985; Haigh vd., 1995). Yol inşasının heyelan oluşumu üzerindeki etkilerini Gucinski vd., (2001) jeomorfik ve hidrolojik olarak değerlendirmektedir ve 4 temel mekanizma ile gerçekleştiğini belirtmektedir. Bunlar: 1) yolun yüzeyinden kaynaklanan erozyon, 2) kanal yapısı ve geometrilerini doğrudan etkileme, 3) yüzeysel akış yollarını değiştirme ve yüzey altı akışı engelleme ve 4) yol-dere kesişimlerinde su, sediment ve odunsu atıkları ihtiva eden materyal arasındaki etkileşim şeklinde özetlenebilir. Bu etkilerin boyutları ise iklim, jeoloji, yolun yaşı, inşa şekli ve yağışlara bağlı olarak değişmektedir. İtalya'da yapılan bir çalışmada 4 yıllık dönemde (1937-1941) meydana gelen yağışlardan kaynaklı heyelanlardan yolun her 10 km'sinde 3 tane ve 1997 yılındaki hızlı kar erimesinden kaynaklı heyelanlardan ise 1 tane bulunduğu tespit edilmiştir (Reichenbach vd., 2002). Yeni Zelanda'da yapılan bir çalışmada 142 km uzunluğundaki karayolunun kazı ve dolgu şevlerinde 263 heyelan tespit edilmiş ve yol ağının 209 km'lik kısmında oluşan heyelanların hacimlerinin 193000 m<sup>3</sup> (yaklaşık 367000 ton veya 2800 ton/km) olduğu bulunmuştur (Coker ve Fahey, 1993). Çalışmada yüzey erozyonu gibi doğal süreçlerde bu hacmin yer değiştirmesi için 80 yıl gerektiği ifade edilmektedir. Swanson ve Dyrness (1975) yol olmayan yamaçlara göre yol inşa edilenlerde 30 kat daha fazla heyelan meydana geldiğini ifade etmektedir. Allison vd., (2004) ise 25-350 kat daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Eker ve Aydın (2014) çalışma alanlarında 370,2 km<sup>2</sup>'lik yol geçkisi üzerinde yol kaynaklı 157 (alandaki tespit edilen heyelan sayısı 288'dir) adet heyelan tespit etmişlerdir. Çalışmalarında yollar üzerindeki heyelan frekansları genel ve gerçek heyelan frekansı olarak değerlendirilmiştir. Gerçek heyelan frekansı değerine göre yol geçkilerinin her 2.5 km'sinde bir heyelan görülürken, genel heyelan frekansına göre ise yolların her 5 km'sinde bir heyelan görülmektedir.

## 6. Heyelan önleme fonksiyonlu ormanlar ve yönetimi

Orman yönetimi, silvikültürden orman amenajman planlarının yapımına geniş bir iş aralığına sahiptir. Bu işler kapsamında yapılan uygulamalara bağlı olarak da ağaç türleri, yaş dağılımları, meşcere yoğunluğu ile meşcere sağlık ve stabilitesi çeşitli şekillerde etkilenmektedir. Bitki örtüsünün özellikle ormanların heyelan tehlikesinin azaltılmasındaki rolü her ne kadar derin heyelanlarda minimum seviyede olsa da yapılan müdahaleler açısından önemli olmaktadır. Ormanın sahip olduğu koşullar heyelanların önlenmesi ve yamaçların stabilizasyonunda rol oynamakta, silvikültür ve ormanların yönetim şekilleri yamaç stabilizasyonu açısından önemli olmaktadır. Dolidon vd., (2009)'a göre, havza yönetimi çalışmaları ile orman yönetimi çalışmalarının birlikte ele alınması gerekmektedir. Fransa'da bu amaç için örnek bir ormanlık havza yönetim politikası (Fransız Risk Önleme Planı=The French Risk Plan Prevention) oluşturulmuştur. Heyelan riskini azaltmaya yönelik tüm havza yönetim süreçleri tehlike ve risk değerlendirme ile başlamıştır. Geliştirilen plan risk haritalamaya, güvenli ve tehlikeli alanların saptanmasına olanak sağlamaktadır. Heyelanın meydana gelme olasılığını sınırlayan ormanlık alanlar saptanmıştır. Bu, riskli alanlar için yönetim prensiplerinin belirlenmesi ve uygulayıcıların bu prensipleri takip edebilmeleri için gereklidir. Daha sonra politik ve yasal düzenlemeler insan aktivitelerinin güvenli zonlara yönlendirilmesini ve koruma fonksiyonlu ormanlarda en uygun yönetim organizasyonunun uygulanmasını sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Bir orman, tehlikelere, değişen türlere ve vejetasyon tabakalarına bağlı olarak farklı şekilde etki etmektedir. Ayrıca ormanın koruyucu fonksiyonu zamana bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, eğer gençleşme yoksa veya yetersizse yaşlı bir orman zamanla stabilitesini kaybeder ve böylece koruyucu rolü de azalır. Böyle ormanların stabilitelerini geliştirmek, dağ ormanlarının yönetiminde tehlikelere karşı koruyuculuğunu artırmak açısından önemli olmaktadır. Diğer taraftan, yönetim işlerini etkileyen finansal kısıtlamalardan dolayı optimal yönetim uygulanmalıdır. Bu kapsamda ekonomik duruma bağlı olarak tehlike kontrolünde dağ ormanlarının rolünü artıran ya da bakımına olanak sağlayan minimum silvikültürel eylemler seçilmelidir. Heyelanlara karşı korunma için iki tamamlayıcı politika; 1) risk altındaki tehlike zonunun alt yamaçlarına yakın elemanlara pasif korunmanın, 2) doğal alanlara uygulanan yönetim biçimi ile üst yamaçlarına aktif korunmanın uygulanması ile gerçekleştirilebilmektedir (Dolidon vd., 2009).

Ormanların heyelanları önlemedeki etkinliği kök sisteminin mümkün olduğu kadar derine ulaşabilmesine ve yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek kapalılığa sahip çok yaşlı meşcereler uzun vadede kök gelişiminin sürdürülmesinde en ideal yapı olarak kabul edilirler (Frehner vd., 2007). Çok tabakalı meşcere yapısının topraktaki kök sisteminden yansıdığı ve potansiyel meşcere yıkımından sonra ormanlaşmayı hızlandıran sürdürülebilir gençleşme ortaya çıkardığı kabul edilmektedir. Büyük traşlama alanları ise heyelan oluşumunun önlenmesinde, ormanlar gençlik döneminde iken birkaç yıl sonra ölü köklerin stabilite etkisi azaldığı için en az uygun orman koşullarıdır (Frehner vd., 2007). Açıklıkların bundan dolayı mümkün olduğu kadar küçük ancak yeterli gençliğin gelebilmesi için de gerektiği kadar büyük olması önerilmektedir. Az boşluklu ve alana

uygun ağaç türleri ile kaplı sağlıklı ve stabil bir meşcere, böcek ve fırtına gibi faktörler ile zarar görmüş bir meşcereden daha iyi koruma fonksiyonuna sahiptir (Dolidon vd., 2009).

Heyelan ve erozyona karşı koruyucu fonksiyonlarından yararlanılacak olan meşcerelerin sağlanması gereken minimum ve ideal gereksinimleri Frehner vd., (2007) tarafından belirtilmektedir. Buna göre heyelanın başlangıç bölgesinde, minimum gereksinimleri açısından orman içi açıklık alanların maksimum 0.06 ha (eğer korunmuş gençlik mevcut ise 0.12 ha) büyüklüğünde ve kapalılığın kalıcı olarak %40 ve üzerinde olması tavsiye edilmektedir. İdeal olarak ise orman içi açıklıkların büyüklüklerinin maksimum 0.04 ha (eğer korunmuş gençlik varsa 0.08 ha) ve kapalılığın sürekli olarak %60 ve üzerinde olması önerilmektedir. Ağaç türlerinin karışımı açısından alan tipleri arasındaki geçiş bölgelerinde nemli/ıslak alan ağaç tür kompozisyonları hedef alınması tavsiye edilmektedir. Buna ek olarak ise ideal gereksinimler açısından ağır ve rüzgâr devrilmelerine duyarlı olan ağaçların olmamasına özen gösterilmelidir. Bu gereksinimleri sağladığında ormanların sığ heyelanlar ve yüzey erozyonuna katkısı büyük olmaktadır. İnfiltrasyon zonunda ise minimum gereklilik açısından ormanların kapalılığı sürekli olarak %30 ve üzerinde olmalıdır. İdeal olan ise kapalılığın sürekli %50 ve üzerinde olmasıdır. Buralarda gençliğin sürekliliği garanti altına alınmalıdır. Ormanların infiltrasyon zonunda etkileri eğer kayma yüzeyindeki su dengesine potansiyel etkisi az ise derin heyelanlar için küçük olmaktadır.

## 7. Tartışma ve sonuç

Nüfus artışına paralel olarak çeşitli amaç ve talepler doğrultusunda ortaya çıkan aktivitelerden kaynaklanan ormanlık alanlardaki tahribatlar, beraberinde heyelanlar gibi ciddi çevresel problemler ortaya çıkarmaktadır. Ormanlık alanların artan baskıyla birlikte genellikle stabilite problemlerine konu olan dağlık dik arazilerde bulunmalarından dolayı vejetasyon örtüsünün heyelan üzerindeki etkileri çalışmalara konu olmaktadır. Ormanların heyelanlar üzerindeki etkileri çok sayıda faktöre bağlı olarak değişmektedir. Genel yargı, ormanların heyelanlar üzerinde olumlu etkilerde bulunduğu yönündedir. Heyelanların sığ olmaları durumunda ormanların heyelanlar üzerindeki etkileri olumlu olarak değerlendirilirken, derin heyelanlar üzerinde olumsuz yönde etkide bulunabildikleri ifade edilmektedir. Ormanların heyelanlar üzerindeki olumlu etkileri genel olarak hidrolojik ve mekanik olarak değerlendirilmektedir. Hidrolojik etkiler orman örtüsünün toprak nemi üzerindeki etkileri ile yağış sularının bir bölümünün toprağa ulaşmasını önlemesine bağlı olarak değerlendirilmektedir. Mekanik etkiler ise özellikle ağaçların kök sistemlerinin potansiyel kayma düzlemine kadar nüfuz edebilmesi ile toprağın stabilitesi üzerindeki tutucu özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ormanların heyelanlar üzerindeki mekanik etkileri özellikle heyelanların sığ olmaları durumunda olumludur. Ormanların olumsuz etkileri ise ağaçların konumlarına bağlı olarak yamaca ek yük bindirmeleri ve yamaçta kütlelerin aşağı yönlü hareketine neden olan sürükleyici kuvvetleri artırıcı rüzgâr yüküne maruz kalmalarından kaynaklanmaktadır. Heyelanlar ormanlık alanlarda meydana geldiklerinde açık alanlara göre daha büyük ve yıkıcı olabilmektedir. Ayrıca ormanlık alanlarda daha dik eğimlerde oluşmaktadırlar. Yine de

heyelan frekans ve yoğunlukları ormanlık alanlarda açık alanlara göre daha düşüktür. Ormanların heyelanlar üzerindeki bu etkileri yanında heyelanlar da orman vejetasyonu üzerinde heyelan alanının koşullarında meydana gelen değişimler doğrultusunda etkilenmektedir. Heyelan alanları üzerinde oluşan değişimlere paralel olarak vejetasyon çeşitliliği artabilmektedir. Alanda yeni bitkilerin gelişimine uygun koşullar ortaya çıkabilmektedir.

Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri meşcereleri oluşturan ağaçların türlerine, yaşına, kapalılığına ve lokasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Ağaç türleri açısından derin kök sistemi geliştirebilen türler sığ heyelanlarda kayma yüzeyi düzlemine kadar ulaşabildiklerinden önleyici etkide bulunmaktadırlar. Meşcerenin yaşındaki artışa paralel olarak yine kök sistemlerindeki gelişmişlikten dolayı genç meşcerelere göre daha etkilidir. Ancak derin heyelan sahalarında büyük gövdeli ağaçlar ağırlıklarından dolayı olumsuz etkide bulunabilmektedirler. Meşcerenin kapalılığının yüksek olması da yine heyelan oluşumunun önlenmesine karşı etkili olmaktadır. Aralama yapılan alanlarda müdahale edilmeyen doğal ormanlık alanlara göre daha yüksek heyelan yoğunluğu literatürdeki çalışmalarda tespit edilmiştir. Ormanlık faaliyetleri kapsamında ormanlara müdahale edilmesi ve bu amaçla yapılan yol inşası çalışmaları ormanlık alanlarda heyelanları artırmaktadır. Ormanlık alanlarda uygulanan tıraşlama kesimleri özellikle etkili olmaktadır. Literatürde genel olarak ormanlara müdahalenin heyelanları artırdığı yönünde bilgiler olsa da ağaç kesiminin heyelan oluşumunda önemli bir artışa neden olmadığını ifade eden çalışmalar da bulunmaktadır. Ancak yapılan yol ve arazi çalışmalarının heyelanları tetikleyen önemli bir faaliyet olduğu ifade edilmektedir. Özellikle yol inşasının gerekli koruyucu tedbirler alınmadan gerçekleştirilmesi sığ ve derin heyelanları tetikleyebilmektedir. Ormanlık alanlarda gerçekleştirilen faaliyetler belli bir yönetim (ekonomik, ekolojik veya çevresel) organizasyonuna bağlı olarak yapılmalıdır. Heyelana duyarlı ormanlık alanlarda ormanların koruyucu rollerinden maksimum oranda yararlanmak amacıyla koruma ormanları yönetim planları ayrıca değerlendirilmeye ve bu ormanların meşcere standartları belirlenmeye çalışılmalıdır. Ormanların fonksiyonlarının değerlendirilmesinde heyelan riski dikkate alınarak sadece orman yönetim planları açısından değil tüm havza yönetimi ile entegre olarak yapılması gerekmektedir.

## Kaynaklar

- Abe, K., Ziemer, R.R., 1991. Effect of tree roots on shallow-seated landslides. Proceedings, Geomorphic Hazards in Managed Forests, XIV IUFRO World Congress, 5– 11 August 1990, Montreal, Canada, USDA Forest Service Gen. Tech. Report PSW-130, Berkeley, California, 11 – 20.
- Ali, N., Farshchi, I., Mu'azu, M.A., Rees, S.W., 2012. Soil-Root interaction and effects on slope stability analysis. *EJGE*, 17: 319-328.
- Allison, C., Sidle, R.C., Tait, D., 2004. Application of decision analysis to forest road deactivation in unstable terrain. *Environmental Management* 33(2): 173–185.
- Anonim, 2006. Learning to live with landslides, *Natural Hazards and Disasters*.
- Atalay, F.I., Bekaroğlu, N., 1973. Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü yayını, Ankara.
- Aydın, A., 2007. Ormanlık alanlarda taş ve kaya yuvarlanmaları. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 57 (2): 127-144.
- Bathurst, J.C., Moretti, G., El-Hames, A., Begueria, S., Garcia-Ruiz, J.M., 2007. Modeling the impact of forest loss on shallow landslide sediment yield, Ijuez river catchment, Spanish Pyrenees. *Hydrol. Earth Syst.Sci.* 11(1): 569-583.
- Bathurst, J.C., Bovolo, C.I., Cisneros, F., 2010. Modeling the effect of forest cover on shallow landslides at the river basin scale. *Ecological Engineering*, 36: 317–327.
- Bawcom, J.A., 2007. Even-Aged Management and Landslide Inventory, Jackson Demonstration State Forest, Mendocino County, California. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-194.
- Begueria, S., 2006. Changes in land cover and shallow landslide activity: a case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 74:196-206.
- Berger, F., Rey, F., 2004. Mountain protection forests against natural hazards and risks: new french developments by integrating forests in risk zoning. *Natural Hazards*, 33: 395-404.
- Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Epis, T., Morlotti, E., 2009. Root cohesion of forest species in the Italian Alps. *Plant Soil* (inpress), Doi: 10.1007/s11104-009-9941-0.
- Brang, P., Schönenberger, W., Ott, E., Gardner, B., 2001. Forests as protection from natural hazards. In *The Forest Handbook*, edited by Evans J, T.H. Blackwell Science.
- Brardinoni, F., Hassan, M.A., Slaymaker, H.O., 2002. Complex mass wasting response of drainage basins to forest management in coastal British Columbia. *Geomorphology* 49: 109–124.
- Burn, C.R., Friele, P.A., 1989. Geomorphology, vegetation succession, soil characteristics and permafrost in retrogressive thaw slumps near Mayo, Yukon territory. *Arctic* 42: 31–40.
- Carrara, A., Guzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Use of the GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards*, 20: 117-135.
- Chok, Y.H., 2008. Modelling the effects of soil variability and vegetation on the stability of natural slopes. Doctor of Philosophy, the University of Adelaide, School of Civil, Environmental and Mining Engineering.
- Church, M., Eaton, B., 2001. Hydrological effects of forest harvest in the Pacific Northwest. Technical Report, Prepared for the Joint Solutions Project.
- Coker, R.I., Fahey, B.D., 1993. Road-related mass movement in weathered granite, Golden Downs and Motueka Forests, New Zealand: a note. *Journal of Hydrology, (N.Z.)*, 31(1): 65-69.
- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide, *Bulletin of the international association of engineering geology*, 43.
- Dhakal, A.S., Sidle, R.C., 2003. Long-term modelling of landslides for different forest management practices, *Earth Surface Processes and Landforms* 28: 853–868.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Ibsen, M.L., 1996. Landslide recognition: identification, movement and causes. John Wiley&Sons.



- Dolidon, N., Hofer, T., Jansky, L., Sidle, R., 2009. Watershed and forest management for landslide risk reduction. p. 633-646. In Sassa, K. & Canuti, P. *Landslides Disaster Risk Reduction*.
- Duan, J., Grant, G.E., 2000. Shallow landslide delineation for steep forest watersheds based on topographic attributes and probability analysis. In *Terrain Analysis: Principles and Applications*, Wilson JP, Gallant JC (eds), John Wiley&Sons: New York; 311-329.
- Ekanayake, J.C., Marden, M., Watson, A.J., Rowan, D., 1997. Tree roots and slope stability: a comparison between *Pinus Radiata* and *Kanuka*. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 27(2): 216-233.
- Eker, R., Aydın, A., 2014. Assessment of the forest road conditions in terms of landslide susceptibility: A case study in Yığılca Forest Directorate (Turkey). *Turk J Agric For*. 38(2): 281-290.
- Forbes, K., Broadhead, J., 2011. *Forests and Landslides: The role of trees and forests in the prevention of landslides and rehabilitation of landslide-affected areas in Asia*. Rap Publication 19.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2007. Sustainability and success monitoring in protection forests. Federal Office for the Environment FOEN. UW-0727-E. Pp: 55.
- Geertsema, M., Pojar, J.J., 2007. Influence of landslides on biophysical diversity – A perspective from British Columbia. *Geomorphology* 89: 55-69.
- Görcelioğlu, E., 2003. Sel ve Çığ Kontrolü. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, No: 4415/473,384 s. İstanbul.
- Görcelioğlu, E., 2004a. Biyoteknik Yapılar. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, No: 4512/483, 178 s., İstanbul.
- Görcelioğlu, E., 2004b. Orman yolları-erozyon ilişkisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 4460/476, 184 s., İstanbul.
- Gray, D.H., 2009. Effect of woody vegetation removal on the hydrology and stability of slopes. Literature Review.
- Gucinski, H., Furniss, M.J., Ziemer, R.R., 2001. *Brookes MH. Forest roads: a synthesis of scientific information*. Gen. Tech. ep.PNW-GTR-509. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- Haigh, M.J., Rawat, J.S., Rawat, M.S., Bartarya, S.K., Rai, S.P., 1995. Interactions between forest and landslide activity along new highways in Kumun Himalaya. *Forest Ecology and Management* 78: 173-189.
- Hairiah, K., Widianto, Suprayogo, D., Lestari, N.D., Kurniasari, V., Santosa, A., Verbist, B., Noordwijk, M.V., 2006. Root effects on slope stability in Sumberjava, Lampung (Indonesia). *International Symposium Towards Sustainable Livelihoods And Ecosystems In Mountainous Regions*, 7-9 March 2006, Chiang Mai, Thailand.
- Imauzimi, F., Sidle, R.C., Karnei, R., 2008. Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surf. Process. Landforms* 33: 827-840.
- Innes, J., 2004. *Forests In Environmental Protection*. In *Forests and Forest Plants*, [Eds. John N. Owens, and H. Gyde Lund], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.
- Jakob, M., 2000. The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena* 38: 279-300.
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., 2003. Modelling effects of forest canopies on slope stability. *Hydrol. Process.* 17: 1457-1467.
- Keppeler, E., Lewis, J., Lisle, T., 2003. Effects of forest management on streamflow, sediment yield, and erosion, Caspar Creek Experimental Watersheds. The First Interagency Conference on Research in the Watersheds, 27-30 October 2003, Benson, AZ.
- Kubota, T., Omura, H., Devkota, B.D., 2007. Influence of the forest on slope stability with different forest felling condition. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 01505.
- Kumar, S.V., Bhagavanulu, D.V.S., 2008. Effects of deforestation on landslides in Nilgiris District: a case study. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 36:105-108.
- Lewis, N.K., 1998. Landslide-driven distribution of aspen and steppe on Kathul Mountain, Alaska. *Journal of Arid Environments* 38: 421-435.
- Mafian, S., Huat, B.B.K., Ghiasi, V., 2009. Evaluation on root theories and root strength properties in slope stability. *European Journal of Scientific Research*, 30(4): 594-607.
- May, C.L., 2002. Debris flows through different forest age classes in the Central Oregon Coast Region. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4): 1097-1113.
- Motta, R., Haudemand, J.C., 2000. Protective Forests and Silvicultural Stability. *Mountain Research and Development*, 20(2):180-187.
- Mulder, H.F.H.M., Van Asch, T.W.J., Weiss, E.E.W., 1987. The influence of forest on landslide activity. *Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (Proceedings of the Corvallis Symposium, August, 1987)*. IAHS Publ. no. 165.
- Nilaweera, N.S., Nutalaya, P., 1999. Role of tree roots in slope stabilization, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 57: 337-342.
- O'loughlin, C.J., 1974. The effect of timber removal on the stability of forest soils. *The Journal of Hydrology (N.Z.)* 13: 121-134.
- Pantha, B.R., Yatabe, R., Bhandary, N.P., 2008. GIS-based landslide susceptibility zonation for roadside slope repair and maintenance in the Himalayan region, *Episodes*, Vol. 31, No. 4: 384-391.
- Philips, C., Marden, M., Rowan, D., 1989. Planning for forestry after Cyclone Bola- a comment. *N.Z. Forestry*.
- Price, M., Butt, N., 2000. *Forests in Sustainable Mountain Development*. IUFRO Research Series No 5.
- Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Guzetti, F., Salvati, P., 2002. Landslide events and their impact on the transportation network in the Umbria region, central Italy, *Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference held at Mallorca, Spain*.
- Rice, R.M., 1977. *Forest management to minimize landslide risk*, FAO Conservation Guide, Guidelines for Watershed Management.
- Rickli, C.H., Graf, F., 2009. Effects of forests on shallow landslides – case studies in Switzerland, *For. Snow Landsc. Res.* 82, 1: 33-44.
- Sakals, M.E., Innes, J.L., Wilford, D.J., Sidle, R.J., Grant, G.E., 2006. The role of forests in reducing hydrogeomorphic hazards; *For. SnowLandsc. Res.* 80, 1: 11-22.

- Schönenberger, W., 2001. Trends in mountain forest management in Switzerland. *Schweiz. Z. Forstwes.* 152(4): 152–156.
- Sidle, R.C., Pearce, A.J., O’Loughlin, C.L., 1985. Hillslope Stability and Land Use. American Geophysical Union, Water Resources Monograph 11. American Geophysical Union: Washington, D.C.
- Sidle, R., 2008. Slope Stability: Benefits of forests vegetation in Central Japan. Prepared for the report “The Role of Environmental Management and Eco-Engineering in Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation” (ProAct Network 2008).
- Sidle, R.C., Terry, P.K.K., 1992. Shallow landslide analysis in terrain with managed vegetation. *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions* (Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992). IAHS Publ. no. 209.
- Smith, R.B., Commandeur, P.R., Ryan, M.W., 1986. Soils, vegetation, and forest growth on landslides and surrounding logged and old growth areas on the Queen Charlotte Islands. BC Ministry of Forests, Land Management Report 41, 95 pp.
- Steinacher, R., Medicus, G., Fellin, W., Zangerl, C., 2009. The Influence of Deforestation on Slope (In-) Stability, *Austrian Journal of Earth Sciences* (Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft) 102/2, 90 – 99.
- Swanson, F.J., Dyrness, C.T., 1975. Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. *Geology* 3: 393–396.
- Tosi, M., 2007. Root tensile strength relationship and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines (Italy). *Geomorphology* 87: 268–283.
- Turner, T.R., Duke, S.D., Fransen, B.R., Reiter, M.L., Kroll, A.J., Ward, J.W., Bach, J.L., Justice, T.E., Bilby, R.E., 2010. Landslide densities associated with rainfall, stand age, and topography on forested landscapes, southwestern Washington, USA. *For. Ecol. Manag.* 259: 2233–2247.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movements: types and processes, In *landslides and engineering practice* (Ed R.L. Schuster and R.J. Krizek) Transportation research board national Academy of sciences, special report, Pp 12-33.
- Ziemer, R.R., 1981a. The role of vegetation in the stability of forested slopes. *Proc. Int. Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress, Kyoto, Japan, vol. 1*, 297–308.
- Ziemer, R.R., 1981b. Roots and the stability of steep slopes, in *Proceedings, Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*, IAHS Publ. 132: 343–357.