

---

SERİ

**B**

CİLT

**39**

SAYI

**4**

**1989**

---

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
**ORMAN FAKÜLTESİ**  
D E R G İ S İ



# BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİNE ETKİLERİ<sup>1)</sup>

Prof. Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU<sup>2)</sup>

## Kısa Özet

Bitki örtüsü ve özellikle odunsu vejetasyon, kesme (makaslama) kuvvetine karşı toprakların direncini arttırarak yamaçların stabilitesini güçlendirir.

Gerek teorik incelemeler, gerekse deneysel araştırmalar, köklerin nüfuzu dolayısıyla toprağın kesme direncinde meydana gelen artışın, esas itibariyle köklerin çekme gerilmesine dayanma gücünün ve toprak kesitinde kök lifleri tarafından kaplanan alanın bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir.

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi doğal süreçler sonucu meydana gelmiş, oldukça eğimli arazi kesimleri yamaç olarak anılmakta; bu tip arazi kesimleri, ilişkili oldukları topoğrafik yapıya göre vadi yamacı, dağ yamacı, tepe yamacı gibi isimler almaktadır (İZBIRAK 1964). Öte yandan, çeşitli mühendislik amaçları için yapay olarak açılan ya da oluşturulan eğimli yamaçlara ise şev denilmektedir (ULUSAY 1982). Kısacası, yamaç terimi de, şev terimi de esas itibariyle eğimli arazi parçalarını kapsamakta, ancak, yamaç doğal, şev ise yapay bir oluşumu ifade etmektedir.

Jeomorfolojik açıdan, yer kabuğundaki engebeleri ortadan kaldırmaya, araziyi düzleştirmeye çalışan dışdinamik olaylar arasında kütle hareketleri önemli bir yer tutmaktadır. Genellikle yamaçlardaki denge kaybı sonucu meydana gelen kütle hareketleri çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir (KITTREDGE 1948; VARNES 1958; ERİNÇ 1968; ANONİM 1973; UZUNSOY/GÖRCELİOĞLU 1985). Biz burada bunun ayrıntılarına girmeyeceğiz, genelde heyelan olarak isimlendirilen ve "doğal kaya, her çeşit zemin, yapma dolgu malzemesi ve bunların çeşitli birleşimlerinden meydana gelen şevli malzemelerin aşağıya ve dışa doğru hareketleri" olarak tanımlanan (ANONİM 1973) kütle hareketlerine ilişkin bazı konular üzerinde duracağız.

1) Bu yazının kısa bir özeti, 27-29 Kasım 1991 tarihinde Trabzon'da yapılan Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuştur.

2) İ.Ü. Orman Fakültesi Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi.

## 2. YAMAÇ VE ŞEVLERDE DENGE KAYBI

### 2.1. Nedenler

Yamaç ve şev stabilitesini, bu eğimli arazi parçalarındaki sürtünme kuvvetini ve sürtünme direncini kontrol eden topoğrafik, jeolojik ve iklimatik değişkenler belirler. Buralardaki kütle hareketleri, makaslama zorlanmasının yamaç veya şevi oluşturan materyallerin sürtünme direncini aşması halinde meydana gelir.

Stabil zemin ile harekete geçen kütle arasındaki sınırı oluşturan kritik yüzey (kopma yüzeyi) boyunca kütleli kaymaya zorlayan kuvveti büyüten, ya da aksine sürtünme direncini zayıflatan herhangi bir değişken ya da faktör, yamaç veya şevde kütle hareketine neden olabilir.

Yamaç ve şevlerde denge kaybına yol açan faktörler arasında en sık görüleni, doğal etmenler ya da insan faaliyetleri nedeniyle yamaç ya da şevin yanıl (lateral) destekten yoksun kalmasıdır. Bu gözlem, şev topraklarında istinat duvarları yapılmasının önemini ortaya koymaktadır. Yamaç ya da şevin ıslanması, hem kaymaya zorlayan kuvveti büyütmek, hem de sürtünme direncini azaltmak suretiyle harekete katkıda bulunabilir. Nitekim, toprak kaymalarının % 95'inde suyun etkili olduğu, hatta birinci derecede rol oynadığı belirlenmiştir. Bu nedenle drenaj ve saptırma önlemleri, toprak kaymalarının önlenmesinde ve kontrolünde en etkili çareler arasında yer almaktadır.

Vejetasyon, toprak kütlelerinde denge kaybına neden olan faktör ve koşullardan birçoğunu ortadan kaldırabilir ya da iyileştirebilir. Bir yamaç ya da şev üzerinde odunsu bitkiler –özellikle ağaçlar–, kökleri vasıtasıyla toprağın kaymaya karşı direncini artırır, toprakta nem fazlalığından doğan sürtünme zayıflamasını ve su (ıslanma) nedeniyle ortaya çıkan ek yükü (sürşarji) evapotranspirasyon yoluyla azaltır, ayrıca –ağaç gövdelerinin toprak kütlelerini tutucu ve destekleyici etkisi sayesinde– yamaç stabilitesini artırıcı rol oynarlar.

### 2.2. Belirtiler

Kütle hareketinin meydana gelebileceği alanların belirlenmesinde çok yararlı olan ve yamaçlarda denge bozukluğunun gözle görülebilen habercileri niteliğini taşıyan birçok belirtiler vardır. Bunlar kısaca:

- a) dalgalı ve kırıklı bir topoğrafya,
- b) eğimde ani değişiklik,
- c) yarıklar ve çatlaklar,
- d) merdiven basamaklarını andıran bir yüzey görüntüsü,
- e) yer yer kabarmış yamaç formları,
- f) yamaçta küçük göllenmeler,
- g) yamaçta yer yer su sızıntıları,
- h) çevreye uymayan bitki çeşitleri,
- i) gövdeleri eğilmiş ya da kamburlaşmış ağaçlar,
- j) dalış yönü (genel eğimi) yamaç aşağısına doğru olan kaya tabakaları

şeklinde sıralanabilir. Yamaçta denge bozukluğunun göstergesi durumundaki bu belirtilerin çoğu, arazinin hızla gözden geçirilmesi ile hemen kendini gösterirler. Bunlar, araziye tedirgin edecek (yol yapımı, kazı vb. gibi) herhangi bir çalışma sırasında ya da böyle bir çalışmadan hemen sonra önlem alınması gerektiğini ortaya koyan işaretlerdir.

Bir yamaçın stabil olup olmadığı konusunda kabaca bir fikir edinmek için yararlı olabilecek bir yöntem de arazide daha önce heyelân meydana gelip gelmediğinin araştırılmasıdır. Eğer arazide daha önce meydana gelmiş heyelânlara ait herhangi bir iz ya da belirti yoksa, bu takdirde ılımlı bir inşaat çalışmasının yeni bir heyelâna yol açması olasılığı da hemen hemen yoktur. Buna karşılık, çevrede daha önce meydana gelmiş heyelânlar varsa, bu takdirde de basit ve küçük bir inşaat faaliyetinin bile eski bir heyelâni yeniden harekete geçirmesi ya da yeni bir heyelâna yol açması olasılığı çok kuvvetlidir.

### 3. YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİNDE VEJETASYONUN ROLÜ

Yamaç ve şevlerde yüzeysel erozyonun önlenmesi bakımından vejetasyonun yararları bilinmekte ve bu amaçla vejetasyondan öteden beri yaygın olarak yararlanılmaktadır.

Otsu ve odunsu vejetasyonun erozyon kontrolündeki başlıca etkileri;

- a) intersepsiyon,
- b) engelleme,
- c) geciktirme,
- d) infiltrasyon,
- e) transpirasyon

yoluyla gerçekleşir.

Vejetasyon, öncelikle de odunsu bitkiler, aynı zamanda yamaç ve şevlerde kütle hareketinin, özellikle sığ (yüzeysel) kaymaların önlenmesinde yararlı olur. Yamaç veya şev stabilitesini etkileyen faktörler, genellikle;

- a) kayma zorlanmasını arttıran faktörler,
- b) kayma (sürtünme) direncini azaltan faktörler

olmak üzere gruplandırılabilir. Bu gruplandırma, Tablo 1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Bu tablodaki gruplandırma, vejetasyonun yamaç veya şev stabilitesi üzerindeki muhtemel etkisinin incelenmesi için bir esas oluşturabilir.

Odunsu vejetasyonun bir yamaç ya da şevde kuvvetlerin dengesini şu yollardan etkilemesi mümkündür:

1. **Kök desteği etkisi:** Kökler, toprak kütleleri içerisindeki kayma zorlanmalarını kendi içlerindeki gerilme direncine transfer etmek suretiyle toprağa mekanik olarak destek sağlar ve onu güçlendirirler.

2. **Toprak nemini değiştirme etkisi:** Evapotranspirasyon ve intersepsiyon, toprakta fazla nemin (suyun) yaratacağı gerilmeyi sınırlandırır. Vejetasyon aynı zamanda –toprakta nem rejimini etkileyen– kar erimesinin hızını da yavaşlatır.

3. **Payanda ve kemer etkisi:** Ağaç gövdeleri, toprağa çakılan tahkim kazıkları ya da kemer ayakları (arch abutments) gibi görev yaparak yamaç destekler ve kayma zorlanmalarını karşılarlar.

4. **Sürüş etkisi:** Bir yamaç –ya da şev– üzerindeki vejetasyonun ağırlığı, bir yandan yamaç yüzeyine paralel doğrultudaki bileşeni ile stabilizasyonu olumsuz yönde etkilerken, bir yandan da yamaç yüzeyine dik doğrultudaki bileşeni ile kaymaya karşı direnci artırıcı rol oynar.

TABLO 1: TOPRAK ŞEVLERDE DENGE KAYBINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kesme (Makaslama) Kuvvetini Arttıran Faktörler	Kesme (Makaslama) Direncini Azaltan Faktörler
<p><b>A. Lateral (Yanal) Desteğin Yok Olması</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erozyon-dere ve nehirler tarafından kıyıların (şev topuğunun) kazılması</li> <li>2. İnsan faaliyetleri-yol yarmaları, kazılar, kanallar, hendek ve kuyular vb.</li> </ol> <p><b>B. Sürsarj</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Doğal etmenler-kar, buz ve yağmurun ağırlığı</li> <li>2. İnsan faaliyetleri-doldurular, bina vb. yapılar</li> </ol> <p><b>C. Zemini Etkileyen Geçici Stresler - Depremler</b></p> <p><b>D. Bölgesel Zemin Çarpılmaları</b></p> <p><b>E. Alt (Taban) Desteğinin Yok Olması</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ayrışma ve çözülme-yeraltı sularının eritici-aşındırıcı etkisi</li> <li>2. Toprak altı erozyonu-borulanma</li> <li>3. İnsan faaliyetleri - madencilik</li> </ol> <p><b>F. Lateral (Yanal) Basınçlar</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Düşey çatlaklar içinde su bulunması</li> <li>2. Çatlaklar içinde suyun donması</li> <li>3. Şişme</li> <li>4. Köklerin kama etkisi</li> </ol>	<p><b>A. Başlangıç Durumu</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kompozisyon-doğal olarak zayıf materyaller</li> <li>2. Tekstür-gevşek topraklar, değişken dengeli grenlerin oluşturduğu strüktürler</li> <li>3. Genel strüktür-faylar, eklemeler, yatak durumu, düzlemler (plakalar), varırlar vb.</li> </ol> <p><b>B. Ufalanmaya ve Diğer Fiziko-Kimyasal Reaksiyonlara Bağlı Değişiklikler</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Donma-çözülme ve sıcaklıkla genleşme</li> <li>2. Kil minerallerinin hidrasyonu</li> <li>3. Kuruma ve çatlama</li> <li>4. Sızıntı sularla yıkanma</li> </ol> <p><b>C. Gözenek Suyuna Bağlı Olarak Granüler Yapı İçindeki Kuvvetlerde Değişmeler</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Doygun halde akışkanlaşma (Buoyancy)</li> <li>2. Doygunluk nedeniyle kapiller gerilim kaybı</li> <li>3. Perkolasyon suyunun sızma basıncı</li> </ol> <p><b>D. Strüktürde Değişmeler</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sıkışmış killerde yan basınçların ortadan kalkmasıyla ince çatlaklar belirmesi</li> <li>2. Tedirgin edilme durumunda gren strüktürünün bozulması</li> </ol>

Kaynak: (VARNİS 1958)

5. **Köklerin "kama" etkisi:** Kökler, bir toprak ya da kaya kütlesi içerisindeki irili ufaklı yarıklar, çatlak ve boşlukları doldurur, buralarda yarattıkları "kama" etkisi (yan basınçlar) nedeniyle lokal olarak denge (stabilite) kaybına yol açabilirler.

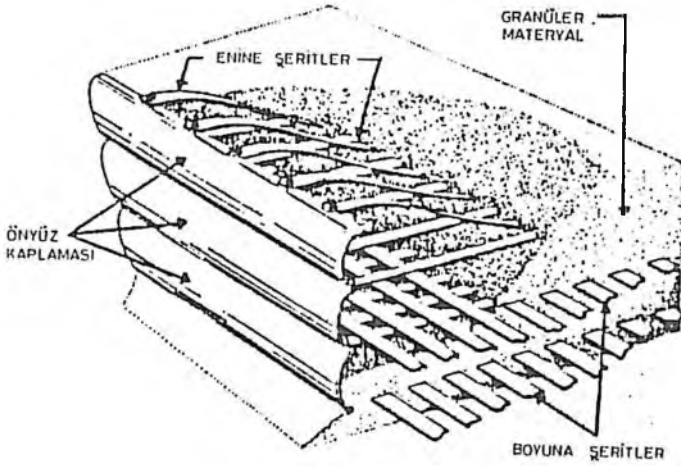
6. **Rüzgâr kuvvetini toprağa aktarma etkisi:** Kuvvetli rüzgârların ağaçlarda yarattığı dönme momenti etkisi yamaca aktarılır ve bu da yamaç stabilitesi üzerinde olumsuz etki yapar.

İlk üç etki, yani kök desteği, toprak nemini değiştirme ve payanda-kemer etkileri, yamaç ya da şev stabilitesine olumlu yönde katkıda bulunur. Dördüncüsü, yani sürsarj, toprak veya eğim koşullarına bağlı olarak ya olumlu, ya da olumsuz etki yaratabilir. Son iki etki, yani köklerin kama etkisi ile ağaçların rüzgâr kuvvetini toprağa aktarma etkisi ise, stabiliteyi genellikle olumsuz yönde etkilerler.

Ne var ki, köklerin kama etkisinden kaynaklanan olumsuz sonuçlar, köklerin toprak kütlelerini sıkıca kavrayarak dağılmayı ve kaymayı önlemesi ile büyük ölçüde ortadan kalkmaktadır. Nitekim, yayınlanmış birçok arazi ve laboratuvar etütlerinden çıkarılan sonuçlara bakılırsa, kök sistemlerinin yamaç ve şev stabilitesi bakımından yararlı etkileri, muhtemel zararlı etkilerden daha fazladır.

Ağaçların rüzgâr etkisini yamaca aktarması ile rüzgâr devriklerinin meydana gelmesi sonucunda toprak mantosunda lokal bozulmalar ortaya çıkar. Rüzgâr devirmesi, bazı ormanlarda oldukça sık karşılaşılan bir olay olmakla birlikte, esas itibarıyla ve öncelikle yaşlı ve hastalıklı ağaçları etkiler.

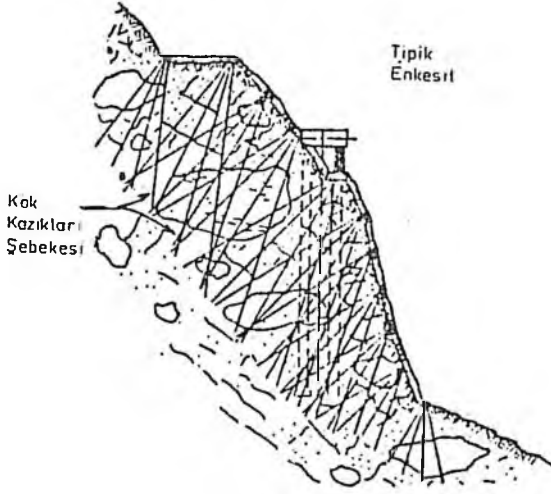
Toprakların doğada bitki kökleri tarafından desteklenerek dayanıklı ve stabil hale getirilmesinden esinlenilerek oluşturulan ve heyelanlarla güvenli olmayan şevleri stabilize etme amacıyla özellikle A.B.D.'de yaygın şekilde kullanılan bir takım teknik tahkim yöntemleri vardır. Örneğin Vidal (1969) tarafından geliştirilen "tahkimli toprak" yöntemi (Şekil 1), esas itibarıyla granüler bir toprak kütleleri içerisinde metal şeritler yerleştirilmesinden ibarettir. Lizzi (1978) tarafından önerilen ve "kök kazıkları şebekesi" adı verilen başka bir sistemin (Şekil 2) esasını da, şev kütleleri içerisinde, birbirini kesen işinsal bir düzende, küçük çaplı ve yerinde dökme beton kazıklardan bir şebeke (ağ) meydana getirilmesi oluşturmaktadır (GRAY/LEISER 1982).



Şekil 1: Tahkimli Toprak (Vidal) Yöntemi

Ağaç köklerinin metal şeritler ya da beton kazıklar kadar sağlam olmadığı açıktır. Ne var ki, böyle durumlarda önemli olan sadece zorlanmalara karşı direnç olmayıp, aynı zamanda tahkim elemanları (kök, şerit ya da kazıklar) boyunca meydana gelen sürtünme transferinin miktarı da önem taşır ve bu miktar, bitki köklerinde metal şerit ve beton kazıklara göre daha fazladır. Ayrıca bitki köklerinin korozyona uğramamaları, aksine kendi kendilerini onarma ve ye-

nilenme yeteneğine sahip bulunmaları da bir üstünlüktür. Kökler aynı zamanda bir yerdeki topoğrafik ya da hidrolojik nitelikli elverişsiz gerilim koşullarına "edafö-eko-trofizma" adı verilen mükemmel bir adaptasyon süreci sayesinde kendi kendilerine uyum sağlayarak cevap verirler. Bu süreç, kök sisteminin durum ve şekil değiştirmesi yoluyla köklerin elverişsiz çevre koşullarının etkisinden kurtulmasını sağlar. Ağaç ve çalılarda köklerin ana kollarının edafö-eko-trofik uyum yeteneği, hem bitkilerin toprağa sıkıca tutunması, hem de bizzat toprak ya da yamaçı sağlamlaştırarak stabilizasyonu artırması bakımından önemlidir.



Şekil 2: Kök Kazıkları Şebekesi (Lizzi Yöntemi)

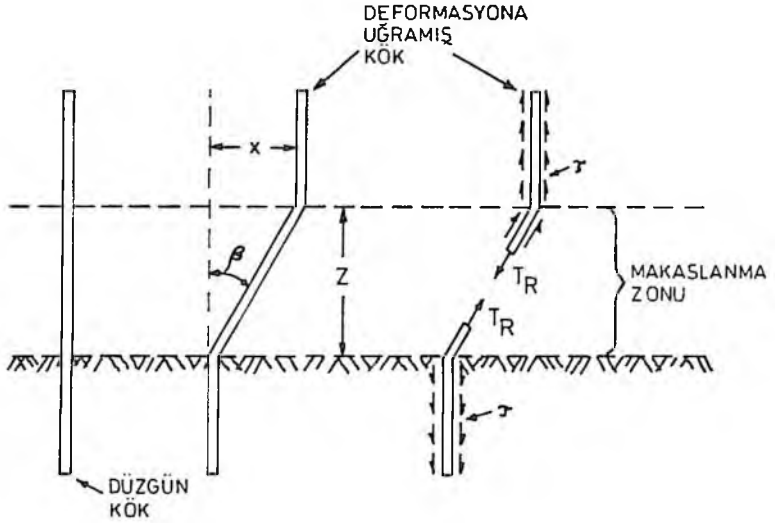
Yamaç stabilitesini sağlayan ya da yamaç stabilitesine olumlu katkıda bulunan bitkiler, öncelikle derin köklü odunsu vejetasyon, yani ağaç ve çalılardır. Fakat otsu vejetasyon da derin toprak kütlelerinin stabilitesinde, toprak nemini –su harcayarak– azaltmak, toprakta donma derinliğini düşürmek ve toprağı yüzeysel erozyona karşı korumak, dolayısıyla da çalı ve ağaçların buralara gelip gelişmesini kolaylaştırmak suretiyle endirekt olarak yarar sağlar (KOBASHI, 1984).

Odunsu vejetasyonun yamaç stabilizasyonuna katkısı ölçüsünde, bu vejetasyonun yok edilmesi de olumsuz etki yapar ve kütle hareketlerinin başlamasında tetik görevi yaparak bunları başlatabilir ya da frekansını artırabilir. **Vejetasyonun yok edilmesi ile kütle hareketlerindeki artış arasında bir sebep-sonuç ilişkisi bulunduğunu gösteren olaylar çok fazladır.** Bunun, ormancılık uygulamaları, yol yapımı için vejetasyonun güzergâh boyunca temizlenmesi ve stabil olmayan yamaçlarda geniş çapta ağaç kesimini gerektiren daha başka arazi kullanımları bakımından önemi büyüktür.

### 3.1. Köklerin Sağladığı Tahkim

Odunsu vejetasyonun toprakları stabilize etmesi, en belirgin şekilde, köklerin toprağı desteklemesi ve güçlendirmesi (tahkim) yoluyla gerçekleşir. Bu bitkilerin toprağı çeşitli yönlerde kavrayan yan kökleri, toprağı yekpare bir kütle haline getirir. Yamaçlarda kök sisteminin düşey elemanları (yani ana –kazık– kök ve ikincil –dalıcı– kökler) toprak mantosu içerisinde aşağıya doğru uzamalarını sürdürerek alttaki daha sıkı katmanların, örneğin çatlaklı ya da parçalanmış anakayanın içlerine kadar ilerlerler; böylece toprağı yamaca sıkıca tutturur ve toprağın kaymaya karşı direncini artırırlar.

Mekanik açıdan, köklerin desteklediğı ya da liflerle tahkim edilmiş bir toprak, kopma direnci nispeten yüksek olan elastik elyafın (ya da köklerin) nispeten plastik topraktan oluşan bir matriks içerisinde gömülü bulunduğu kompozit bir materyal gibi davranır. Bu konuda yapılan çeşitli laboratuvar araştırmaları, toprak içerisindeki doğrusal (lineer) tahkim elemanlarının (köklerin ya da liflerin), bu elemanlar doğrultusundaki zorlanma miktarını büyük ölçüde azalttığını, başka bir deyişle toprağı ek bir kohezyon (pseudo-kohezyon) sağladığını açıkça ortaya koymuştur.



Şekil 3: Dikey kök tahkimi modeli. Eğilebilir elastik kök, başlangıçta makaslanma yüzeyine dikey durmaktadır.

Liflerle tahkim edilmiş, ya da bitki kökleri tarafından kavranmış olan ve direkt makaslanmaya maruz bulunan (yani kayma zorlanması etkisinde olan) bir toprak modeli üzerinde çeşitli araştırmacılar tarafından farklı koşullarda laboratuvar testleri yapılmıştır. Model, düşey doğrultudaki bitki köklerinin bir yamaç ya da şevdeki potansiyel bir kayma yüzeyini geçerek uzadığı durumun idealize edilmesinden ibarettir (Şekil 3) ve köklerin başlangıçtaki durumlarının kayma yüzeyine dik olduğu kabul edilmiştir.



Bu toprak modeli üzerindeki testlerden elde edilen sonuçlar;

$$\Delta S_R = 1,15 T_R (A_R/A)$$

eşitliğiyle özetlenebilir. Bu eşitlikte;

$$\begin{aligned} \Delta S_R &= \text{Kesme kuvvetine karşı toprağın direncinde kökler sayesinde artış (gr/cm}^2\text{)} \\ T_R &= \text{Köklerin ortalama gerilme direnci (gr/cm}^2\text{)} \\ A_R &= \text{Köklerin toprak kesitinde kapladığı alan (cm}^2\text{)} \\ A &= \text{Toprak kesitinin alanı (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

dir.

Bu modelde köklerin gerilme direncinin kayma esnasında tam anlamıyla etkili olduğu kabul edilmektedir. Bunun böyle olabilmesi için köklerin yeterince uzun olması ve/veya köklerle toprak arasındaki sürtünmenin yeterince fazla olması gerekir; öyle ki, köklerle bunları çevreleyen toprak arasındaki sürtünme kuvveti, köklerin çekme gerilmesine karşı koyabilme kuvvetinden (direnme gücünden) daha fazla olsun. Çekme direncini tümüyle etkin kılmak ve köklerin topraktan sıyrılıp çıkmasını önlemek için gerekli olan üniform çaplı ( $d_R$ ) liflerin (köklerin) minimum uzunluğu ( $L_{min}$ );

$$L_{min} > \frac{T_R d_R}{2 \sigma'_R}$$

ifadesi ile bulunur. Burada;

$$\begin{aligned} L_{min} &= \text{Makaslanma esnasında çekme direncini tam olarak mobilize etmek için gereken minimum lif (kök) uzunluğu (cm)} \\ d_R &= \text{Liflerin (köklerin) çapı (cm)} \\ T_R &= \text{Lifin (kökün) çekme direnci (gr/cm}^2\text{)} \\ \sigma'_R &= \text{Lifle (kökle) toprak arasındaki maksimum teğetsel (tanjansiyal) makaslama gerilmesi veya çekme (sıyrılma; pullout) direnci (gr/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

dir. Bu eşitlikle elde edilecek değerden daha kısa olan lifler ya da kökler, çekme etkisinde kopmadan önce sıyrılacak, ya da topraktan kurtulup dışarı çıkarak etkisiz kalacaktır.

Bu testlerde köklerin başlangıçtaki durumlarının kayma yüzeyine dik olduğunun kabul edildiğini daha önce de belirtmiştik. Yapılan teorik etütler ve elde edilen deneysel sonuçlar, makaslanma düzlemine (kayma yüzeyine)  $30^\circ - 90^\circ$  arasında eğik olan lifler (kökler) için farkın çok küçük olduğunu göstermiştir. Buna göre, dikey tahkim modeli (Şekil 3 ve buna ait eşitlik), bir toprak kütesine köklerin sağladığı ek dayanıklılık (tahkim) konusunda tatmin edici hesap ve tahminler yapmaya yeterlidir.

### 3.2. Kök Morfolojisi ve Dayanıklılığı

Kök sistemlerinin gelişmesini ve strüktürünü kontrol eden faktörler, genellikle bitkilerin genetik karakterleri ve aynı zamanda köklenme ortamının özellikleridir.

Odunsu bitkilerin, ağaçların ve çalıların kök strüktürü çoğunlukla hem lateral (yanal) bir kök sisteminden, hem de merkezî, düşey bir kök sisteminden oluşur. Aynı zamanda, yanal (lateral) köklerden aşağıya doğru uzanan sekonder nitelikte düşey ya da düşeye yakın kökler de gelişebilir ki bunlara dalıcı kökler adı verilir. Bir yamaç üzerindeki toprağın yekpare bir kütle

halinde bir arada tutulmasında lateral kökler de rol oynamakta birlikte, dik eğimli yamaçlar üzerinde kaymaya karşı ana direnci düşey kökler sağlar.

Değişik ağaç türlerinin kök gelişimi, kök strüktürü ve kök dayanıklılığı konularında kapsamlı incelemeler maalesef çok azdır.

Oksijen gereksinimi nedeniyle çoğu ağaçların kökleri toprak yüzeyine yakın yerlerde yoğunlaşma eğilimindedir. Çoğunlukla genç yaşlarda köklerin % 80-90'ının yüzeyden 1 m derinliğe kadar olan toprak tabakasında yoğunlaştığı ve bunların hemen hepsinin yanall kök niteliğinde olduğu, 1 m'den daha aşağıda ise köklerin düşey nitelikte olduğu görülür; bu düşey kökler genç yaşlarda 5-6 m derinliğe kadar inebilmektedir.

Kökler toprak içerisinde nemin çok fazla ya da yetersiz olduğu, başka bir deyişle nem stresinin bulunduğu bölgelerden kaçar ve nem koşullarının normal olduğu zonları kaplarlar. Çatlaklı anakaya üzerinde sığ, kaba tekstürlü kalıntı (residual) toprakların yer aldığı yamaçlarda, örneğin granit anakayadan oluşan yamaçlarda, kökler için gerek tutunma, gerekse nemden yararlanma bakımından en elverişli bölge, kalıntı toprakla onun altındaki çatlaklı anakaya arasındaki temas yüzeyidir. Dolayısıyla böyle yer ve durumlarda, ağaçların yamaçtaki kaymaları yeterince engelleyebilmeleri zordur.

Köklerin çekmeye karşı dirençleri, çeşitli kök çapları ve ağaç türleri itibariyle birçok araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu araştırmacıların elde ettiği sonuçlar, 15 mm kök çapına kadar, çekme gerilmesine karşı dayanma gücünün kök çapı arttıkça azaldığını göstermektedir.

Köklerin çekme dirençlerinde yaşa ve ağacın kesilmesinden itibaren geçen süreye bağlı olarak meydana gelen azalma da ölçülmüştür. Köklerin dayanıklılığında zamanla önemli bir düşüş olduğu görülmektedir. Laboratuvar testleri, *Pseudotsuga douglasii* köklerinin, ağacın kesilmesinden 1 yıl sonra dirençlerinin % 50'sini kayb ettiklerini, kesimden 4 yıl sonra ise 1 cm çapındaki bir kökte bu direnç kaybının % 75'e ulaştığını ortaya koymuştur. Kesimden itibaren geçen süreye bağlı olarak meydana gelen bu direnç zayıflamasına ek olarak, 1 cm'den daha küçük çaplı köklerin de çürüyüp yok olması sonucunda topraktaki kök oranı ( $A_R/A$  oranı) da küçülmekte, dolayısıyla toprağın makaslama direnci büyük ölçüde zayıflamaktadır.

Araştırmalar, dik yamaçlar üzerindeki topraklarda köklerin sağladığı efektif direncin ağaçların kesilmesinden 5 yıl sonra minimuma indiğini göstermiştir. Çeşitli faktörlerin heyelânların oluşması ve frekansı üzerine etkisini ele alan bir araştırma (MEGALIAN et al. 1978), heyelân tehlikesinin vejetasyonun ortadan kaldırılmasıyla arttığını, bunun da ortadan kaldırılan vejetasyonun (kesilen ağaçların) miktarı ile doğru orantılı olarak meydana gelen kök çürümesinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Ortalama olarak, heyelân tehlikesi ağaçların kesilmesinden 4 yıl sonra en yüksek düzeye çıkmış, 10 yıl boyunca bu düzeyde devam etmiş, ağaçların kesilmesinden 20 yıl sonra ise heyelân tehlikesi, ağaçlar kesilmeden önceki düzeye inmiştir.

Kaliforniya'nın kuzey sahilinde kesim yapılan orman alanlarındaki gözlemler ise (RICE/KRAMMES 1970), yamaçlar üzerindeki orman örtüsünün kalkmasıyla yamaç toprağında direnç kaybının biraz daha yavaş olduğunu ve buna bağlı heyelânların, ormanın kesilmesinden 15 yıl kadar sonra başlayıp hızlandığını göstermiştir.

Ağacın kesilmesinden sonra kök direncinde meydana gelen zayıflama, muhakkak ki hem türe, hem de yetiştirme ortamına bağlıdır. Bunun sonucunda yamaçta heyelân meydana gelmeyeceği hususu da, kesim yapılan alanda kökler çürümeden yeni bir bitki örtüsünün gelişme hızına bağlı kalır.

Otsu bitkiler, toprakların tahkiminde ve yamaçların kütle hareketlerine karşı stabilizasyonunda genellikle odunsu bitkiler kadar etkili olamazlar. Otsu bitkilerin kökleri odunsu bitkilerin köklerinden daha zayıftır ve nüfuz edebildikleri derinlik de daha azdır. Bununla birlikte *Medicago sativa* L.<sup>1)</sup> gibi birkaç türün köklerinin toprağın metrelerce aşağılarına kadar gidebildiği bilinmektedir. Otsu bitki köklerinin mekanik olarak toprağı güçlendirici etkilerini araştıran Waldron (1977), *Medicago sativa* köklerinin özellikle makaslamaya karşı direncin artmasında etkili olduğunu göstermiştir. *M. sativa*'nın bu "tahkim" etkisi, esas itibarıyla toprağın gür bir kök sistemi ile tutulmasına (yani  $A_R/A$  oranının yüksek olmasına) ve birçok yan kollara sahip kazık kökler sayesinde köklerle toprak arasında iyi bir sürtünme bağlantısının varlığına (yani  $\sigma'_R$  değerinin büyük oluşuna) atfedilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle *Medicago sativa*, toprakların tahkimi ve yamaç ve şevlerin sığ kayma ve göçmelere karşı stabil hale getirilmesi amacıyla kullanılabilir nitelikte görülmektedir.

### 3.3. Toprak Nemi ve Kütle Hareketi

Vejetasyon, toprak içerisindeki su rejimini değişikliğe uğratarak yamaç ve şevlerin stabilitesine etkili olabilir. Ağaçlar kökleriyle topraktan aldıkları suyu transpirasyon (terleme) yoluyla yapraklarından havaya verirler ve böylece toprak nemini azaltırlar. Bir orman aynı zamanda ağaçların tepe çatılarında ya da toprak üzerindeki ölü örtüde yağışı intersept ve adsorbe eder. Böylece bir ormandaki ağaçların intersepsiyon ve transpirasyonu, toprağın nispeten kuru kalmasını sağlar ve toprakta su ile tamamen ya da aşırı derecede doygun koşulların ortaya çıkmasını engeller ya da geciktirirler. Ağaçların kesilmesi ya da ormanın traşlanması ise, toprakların eskiye oranla daha ıslak duruma gelmesine ve su tutma kapasitesinin yağışlar sırasında daha kısa sürede dolmasına, dolayısıyla yüzeysel akışın –ve aynı zamanda erozyonun– artmasına yol açar.

Ağaçların topraktaki suyu önemli bir derinliğe kadar kullanma ve toprakta su açığı oluşturma yetenekleri bilinmektedir. Ancak, bu su tüketiminin yamaç stabilitesi bakımından sonuçları ya da önemi üzerinde farklı görüş ve düşünceler vardır. Dik yamaçlardaki toprak kayması ve diğer kütle hareketleri ile yüksek yağışlar ve kısa süreli, fakat şiddetli sağanaklar arasında kuvvetli bir korelasyon söz konusudur. Eğimli arazilerdeki ve yamaçlardaki yavaş kütle hareketi de yağıştan önemli ölçüde etkilenmektedir. Gerek yavaş, gerekse hızlı kütle hareketlerinin meydana gelmesinde yağışın etkili olması, esas itibarıyla yağışın toprak suyu hareketi ve toprak nemi stresi ile ilişkisinden kaynaklanmaktadır. Bir yamaçta yüksek nem stresi ne kadar fazla ya da ne kadar uzun süreli olursa, yavaş kütle hareketinin toplam miktarı da o kadar fazla olacak ve hızlı kütle hareketi (heyelân) tehlikesi de o ölçüde artacaktır. Böyle durumlarda, yani şiddetli ya da uzun süreli bir yağış sırasında, yamaçtaki vejetasyonun topraktaki fazla suyun olumsuz etkisini ne ölçüde hafifleteceği tartışmalıdır. Ancak, ormanlık bir yamaçta, çıplak ya da bitki örtüsü tahrip edilmiş bir yamaçtakine oranla kütle hareketi tehlikesi, bitkilerin kök desteği ve payanda-kemer etkisi nedeniyle yine de daha az olacaktır.

Transpirasyonun ve vejetasyon örtüsünün toprak nemini azaltarak heyelânları önleyici rol oynaması, bir bakıma iklimle bağlıdır. Çünkü bitkilerin transpirasyon yoluyla yamaç stabilitesine olumlu katkıları, yağışın potansiyel evapotranspirasyondan çok fazla olduğu iklim bölgelerinde ihmal edilebilecek kadar azdır. Buna karşılık, daha kurak olan ve her yaz nem (toprak suyu) açığı meydana gelen iklimlerde suyun değişik bitki örtüsü tipleri tarafından farklı ölçülerde kullanılması ise, heyelânların oluşmasını önemli ölçüde etkileyip önleyebilir.

1) "Yonca (*Medicago sativa* L.)'nın genellikle az dallanan ve çok derinlere giden, 2-2.5 cm'ye kadar kalınlaşabilen kuvvetli bir kazık kökü vardır. Bu kök muhtelif derinliklerde tâli köklerle takviye edilir. Yoncanın bazı formlarında bu kuvvetli kazık kökten başka rizom ve stolonlardan da kökler çıkar." (ERKUN et al 1960).

### 3.4. Yamaçlarda Ağaçların Payanda ve Kemer Etkisi

Yamaçlarda yetişen ağaçların gövdeleriyle toprağa dayanak oluşturması, yamaç stabilitesi üzerinde önemli rol oynar. Bu payanda (dayanak; destek) etkisi ya da sığ yamaç hareketine karşı lateral (yanal) engelleme, toprağa kökleriyle sıkıca tutunmuş olan sağlam ağaç gövdeleri tarafından gerçekleştirilir.

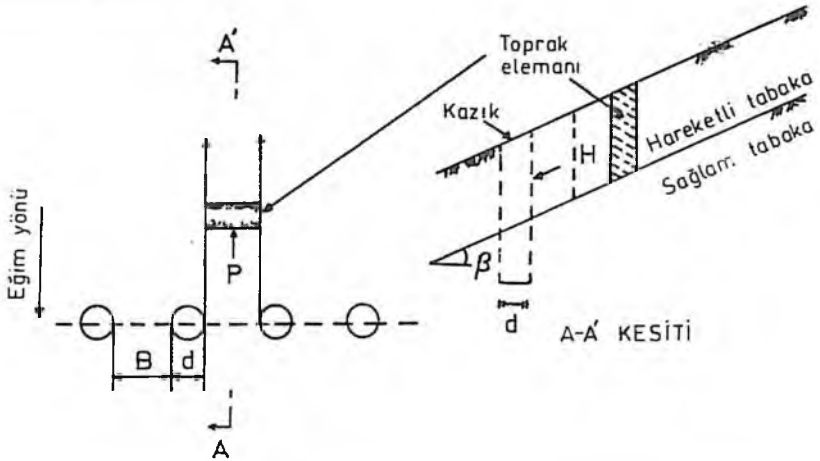
Yamaçlarda kemer etkisi, toprağın, sağlam bir tabaka içerisine kökleriyle sıkıca tutunmuş bir dizi ağaç gövdesi (ya da toprağa çakılmış bir dizi kazık) arasından ya da bunların çevresinden geçerek hareket etme eğilimi gösterdiği yer ve durumlarda ortaya çıkar. Uygun koşullar altında bu ağaçlar hem gövdeleriyle, hem de kökleriyle yamaç yukarısında kalan toprak kütlesi için bir destek oluştururlar. Ağaçların yamaçta bu görevi yapabilecek şekilde sağlam olarak toprağın alt tabakalarına tutunabilmeleri, ancak;

- ağimli anakaya üzerine oturmuş sığ kalınlı (bakıyevi; residual) topraklarda ya da buzul aşındırması sonucunda oluşmuş glasiyal topraklarda,
- ağaç gövdelerinin alt kısımlarının kum hareketleri sonucu derin şekilde gömülmüş olduğu kumlu yamaçlarda

mümkün olur.

#### 3.4.1. Ağaçların Destek (Kemer) Etkisine İlişkin Teorik Model

Toprağa çakılmış bir dizi rijit kazık arasından toprağın eğim doğrultusunda hareketi sırasında bu kazıklara karşı gelişen lateral kuvvetleri tanımlamak ve bu kuvvetlerin büyüklüklerini hesaplamak amacıyla çeşitli teorik modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, bir yamaçtaki ağaçların yamaç toprağının kütsel hareketi sırasında maruz kalacakları yanal kuvvetleri de temsil etmektedir. Bunlara bir örnek olmak üzere Wang ve Yen (1974) tarafından geliştirilen teori-den söz etmek yerinde olur:



Şekil 4: Wang-Yen teorisine göre, yamaça çakılmış bir sıra kazık çevresinde toprağın kemerlenmesi ve plastik deformasyon.

Wan-Yen teorisini, yarı-sonsuz bir yamaç (şev) modeline ve rijit-plastik-solid toprak davranışına dayandırılmış, tek sıra halinde gömülü (çakılmış) olan, (d) çapında ve birbirinden (B) kadar aralıklı olarak yer alan kazıklar için geliştirilmiştir (Şekil 4).

Bu teoriye göre, harekete geçmeye elverişli (H) derinliğindeki bir toprağa sahip bir yamaca çakılı (d) çapındaki bir kazığa karşı oluşan toplam kuvvet (P);

$$P = \frac{K_0}{2} \cdot d \cdot \gamma \cdot H^2 + \left( \frac{K_0}{2} \cdot \gamma \cdot H - p \cdot B \right) \quad (11)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

- P = Bir yamaca çakılmış sabit ve rijit bir kazığa karşı oluşan toplam kuvvet (kg)
- B = Kazıklar arasındaki net aralık (m)
- H = Harekete elverişli toprak tabakasının (düşey doğrultudaki) kalınlığı (m)
- d = Çakılı kazığın çapı (m)
- K<sub>0</sub> = Hareketsiz toprağın lateral basınç (itme) katsayısı
- p = Sabit kazıklar arasındaki açıklıkta ortalama lateral basınç (ya da kemer basıncı) (eğim yönündeki toprak itmesi) (kg)
- γ = Toprağın birim ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)

tür.

Yamaca çakılı herbir kazık üzerindeki yük, biri kazığın yamaç yukarısına bakan tarafında sükûnette olan toprağın (bir istinat duvarındaki lateral basınca –toprak itmesine– benzeyen) basıncı, diğeri de, herbir kazık bir kemer barajın yanlarda yamaca giren abutmanı imişcesine komşu kazıklara transfer edilen toprak (kemerleme) basıncı olmak üzere iki kuvvetin toplamıdır. Ortalama lateral basınç (p) sifıra yaklaştığı zaman, kemerleme etkinliği maksimumdur. Öte yandan, lateral basınç ya da kemerleme basıncı (p) büyürken, kemerlemenin etkisi de giderek azalır. kemerleme basıncı limit değere  $\left( \frac{K_0}{2} \cdot \gamma \cdot H \right)$  ulaşırsa, eşitlikteki ikinci terim sıfır olur ve kemer etkisi ya da komşu (sabit) kazıklara gerilme aktarımı meydana gelmez. Bir yamaçta kemerlemenin var olabilmesi için müsaade edilebilecek maksimum aralık, ya da kritik aralık (B<sub>kr</sub>), başka bir deyişle, yamaçlar üzerindeki ağaçlar arasında –kütle hareketini engelleyebilmeleri için– bulunması gereken (eşyükselti eğrileri boyunca) maksimum mesafe, şu eşitlikle hesaplanır:

$$B_{kr} = \frac{HK_0 \cdot (K_0 + 1) \cdot \tan \varphi + \frac{2c}{\gamma}}{\cos \beta (\tan \beta - \tan \varphi_1) - \frac{c_1}{\gamma \cdot H \cdot \cos \beta}}$$

Burada;

- B<sub>kr</sub> = Sabit, çakılı kazıklar arasındaki kritik net aralık (m)
- c = Toprak içindeki kohezyon
- c<sub>1</sub> = Esas (basal) kayma yüzeyi boyunca kohezyon
- β = Eğim açısı (yamaç eğim açısı)
- φ ve φ<sub>1</sub> = Topraktaki içsel sürtünme açısı ve esas (basal) kayma yüzeyi boyunca içsel sürtünme açısı

dır.

Toprağın kemerlenmesine ilişkin Wang-Yen teorisi (P ve  $B_k$ ) formülleri sayesinde, bir yamaçta büyüyen ağaçların kemer etkisinden doğan ve toprağın harekete geçmesine karşı koyan kuvvetin hesaplanması mümkün olmaktadır.

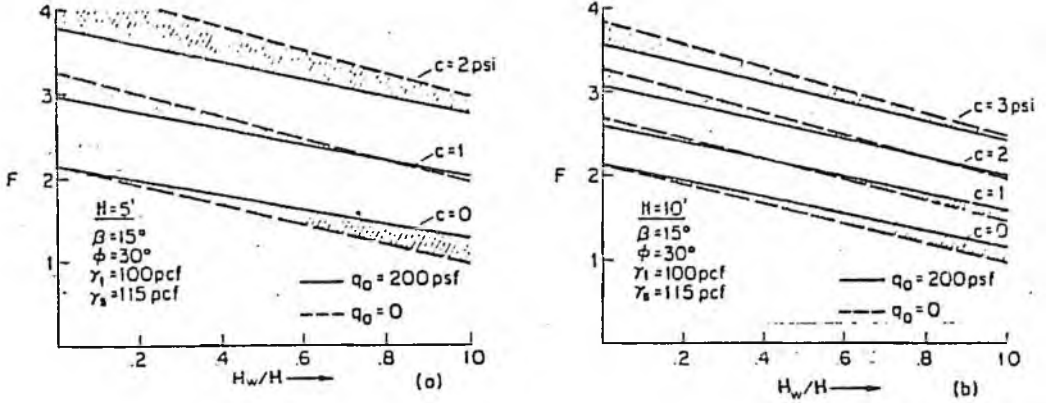
A.B.D.'de Idaho batolitinde<sup>1)</sup> yer alan ormanlık ve kumlu yamaçlardan elde edilen arazi verilerinin analizleri, bu yamaçların, ağaçlar arası kemerleme etkisi kriterlerini karşıladığını göstermiştir. Ağaç aralıkları, ya da daha önemlisi "vertikal kök silindirleri" arasındaki açıklıkların genişliği, Wang-Yen teorisine uygun bir büyüklük sırası içerisinde bulunmuştur. Anakayaya sıkıca tutunmuş olan ağaç kökleri ve bunların düşey kök silindirleri, ağaçların yamaç yukarısına bakan taraflarında oluşan toprak kemeri abutmanları gibi davranmaktadır.

Herhangi bir yamaçta ağaçların yamaç toprağını hareketten alkoymasını için ağaçlar arasında caiz görülen maksimum açıklık (kritik mesafe- $B_{kr}$ ), Wang-Yen teorisinden hesaplanabilir.

### 3.5. Vejetasyonun Yamaca Getirdiği Ek Yük (Sürşarj)

Ağaçların ağırlıklarından kaynaklanan sürşarjin, yamaç ve şev stabilitesi üzerinde çoğunlukla olumsuz etkisi olduğuna inanılmaktadır. Bu görüş genelde doğru olmadığı gibi, belli koşullarda sürşarjin yamaç ve şev stabilitesini arttırıcı yönde etki yaptığı da bilinmektedir.

Eğimli bir anakaya üzerinde ve onunla direkt temasta bulunan nispeten ince bir toprak tabakasına sahip bir yamaç ya da şevin stabilitesi ve düşey (vertikal) bir sürşarjin ( $q_0$ ) etkisi, kaymaya karşı bir güvenlik faktörü hesaplanmak suretiyle belirlenebilir.



Şekil 5: Çeşitli yamaç (şev) koşulları için sürşarjin ( $q_0$ ) sonsuz (kırksız) şevlerin güvenlik faktörüne etkisi; (a) "sığ" şev ( $H=1.5$  m); (b) "derin" şev ( $H=3.0$  m).

Hipotetik bir yamaçta güvenlik faktörü (F), hem yüklenmiş (sürşarjlı;  $q_0 > 0$ ), hem de yüklenmemiş ( $q_0 = 0$ ) yamaç veya şevler için çeşitli koşullar altında toprak suyu (piezometre) yüksekliği/toprak tabakasının derinliği ( $H_w/H$ ) oranına karşı noktalanarak Şekil 5'te gösterilmiştir. Buradan, belli koşullarda, sürşarjin güvenlik faktörü üzerinde yararlı bir etkiye sahip olduğu görülmekte, özellikle yamaçta kritik bir doygunluk durumunun geliştiği koşullarda sürşarjin yamaç stabilitesine olumlu katkısı iyice belirginleşmektedir.

1) Çok derinlerden yar kabuğunun içine pek büyük yığınlar halinde sokulmuş, fakat yerin yüzüne ulaşamamış kütlelere "batolit" denir (İZBİRAK 1964).

Sonsuz yamaçlarda sürşarjin stabiliteye olumlu katkıda bulunduğu koşullar;

$$c < \gamma_w \cdot H_w \cdot \tan \varphi \cdot \cos^2 \varphi$$

olması durumunda ortaya çıkar. Burada:

- c = Toprağın kohezyonu
- $\gamma_w$  = Suyun yoğunluğu
- $H_w$  = Yamaç (şev) içerisindeki piezometrik yükselmenin miktarı
- $\varphi$  = Toprağın içsel sürtünme açısı
- $\beta$  = Eğim açısı

dır.

Bu bağıntı, düşük kohezyon değerleri, yüksek sürtünme, yüksek piezometrik seviyeler ve nispeten hafif eğimler için sürşarjin yararlı olduğunu göstermektedir. Piezometrik yüzeyin maksimum yükseklikte ( $H_w = H$ ) olduğu en kötü durumu göz önünde tuttuğumuz ve diğer parametreler yerine granitik yamaçlar için tipik değerleri ( $\beta=30^\circ$ ,  $\varphi=35^\circ$ ,  $H = 75$  cm) koyduğumuz takdirde, sonuç olarak  $0,04 \text{ kg/cm}^2$  ( $0,57 \text{ psi}$ )'lik bir sınırlayıcı (ya da müsaade edilebilir) kohezyon değeri elde edilir. Bu kohezyon, birçok granitik yamaçta hayli mümkün olan bir sınır değerdir. Böyle yamaçlarda ağaçların ağırlığının yarattığı sürşarj yararlı bir etkiye sahiptir, ya da en kötü olasılıkla toprakta kritik (su ile aşırı doygun) koşulların gelişmesi halinde ihmal edilebilir bir olumsuz etki yapar.

Şekil 5'te verilen karşılaştırmalar için  $0,1 \text{ kg/cm}^2$  ( $200 \text{ psf}$ )'lik bir sürşarj ( $q_0$ ) kullanılmıştır. Genel olarak ağaçların ağırlığının neden olduğu sürşarj ne üniformdur, ne de (muhtemelen bir ağacın hemen altı hariç olmak üzere) bu kadar büyüktür. Nitekim A.B.D.'de deneme havzalarındaki yamaçlar üzerinde yer alan *Pseudotsuga douglasii* meşcerelerinin ağırlığından kaynaklanan sürşarji hesaplayan Rothacher ve arkadaşları (1967), ağaçların ağırlıklarından kaynaklanan sürşarjin özellikle uzun yamaçlarda gerek yavaş kütle hareketi (sürünme; creep) hızları, gerekse güvenlik faktörleri üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermişlerdir.

### 3.6. Vejetasyonun Yok Edilmesinin Yamaç Stabilitesine Etkileri

Yamaçlar üzerindeki odunsu vejetasyon nasıl toprağı sağlamlaştırıyor ve yamaç stabilitesini artırıyor, bu vejetasyonun herhangi bir şekilde ortadan kaldırılması da toprağın zayıflamasına ve yamaç stabilitesinin bozulmasına yol açacaktır. Özellikle traşlama kesim uygulamaları bu bakımdan büyük bir dikkat gerektirir. Dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak uygulanan bir silvikültürel işlem ve bir üretim (istihsal) biçimi olan traşlama kesim, geniş alanların çıplak kalmasına, dolayısıyla da buraların erozyona ve kütle hareketine elverişli duruma gelmesine neden olan bir uygulamadır.

Vejetasyonun ortadan kaldırılması ile kütle hareketi arasındaki sebep-sonuç ilişkisi, birçok araştırmalarla ortaya konmuştur.

Genellikle zayıf kaya ve anamateryalden oluşmuş bulunan dik ve dış görünüşü itibarıyla stabil yamaçlar, yol yapımı, traşlama kesim ve bitki örtüsünün değiştirilmesi gibi insan müdahalelerine karşı fazlasıyla duyarlıdır. Birçok araştırmacı, ormanlarda kesimle bağlantılı olarak yol yapımının, yamaç stabilitesi problemlerinin ortaya çıkmasında en önemli rolü oynadığında birleşmektedir. Dik yamaçlarda sadece ormanların kesilmesi ve buna bağlı olarak yamaç stabili-

litesini destekleyen kök sistemlerinin tahrip olması, çoğunlukla nispeten sığ (yüzeysel) toprak kaymalarına neden olmakta, yol yapımı ile yamaçın tedirgin edilmesi de çıplaklaşma ile birlikte sözkonusu olduğunda ise kütle hareketinin kapsamı büyümektedir. Traşlama kesimler ve yol yapımı, hızlı kütle hareketlerine katkıları bakımından hemen hemen eşit derecede etkili olmaktadır<sup>(1)</sup>.

#### 4. ÖZET VE SONUÇ

Odunsu vejetasyon, kesme (makaslama) kuvvetine karşı toprakların direncini artırır ve yamaçların stabilitesini güçlendirir. Gerek teorik, gerekse deneysel etütler, kök nüfuzundan dolayı toprağın kesme direncinde meydana gelen artışın, esas itibarıyla köklerin çekme gerilmesine dayanma gücünün ve toprak kesiminde kökler tarafından kaplanan alanın bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Bu köklerin kesme ya da çekme kuvveti etkisinde topraktan sökülüp (sıyırılıp) çıkmamaları için yeteri kadar uzun ve yeterli derecede sürtünmeli (yüzey pürüzlülüğü fazla) olmaları gereklidir.

Vejetasyon tarafından yağışın bir bölümünün tutulması (intersepsiyon) ve topraktaki suyun köklerle emilerek bitkiler tarafından tüketilmesi (evapotranspirasyon) da yamaçlarda toprağın dayanıklılığını artırır ve bazı durumlarda stabilitesini de sağlamlaştırır. Nispeten sığ topraklı yamaçlar üzerinde büyümüş ağaçların destek ve kemer etkisinden kaynaklanan engelleme de yamaç stabilitesine olumlu katkıda bulunmaktadır.

Yaygın biçimde yerleşmiş inamların aksine, bir yamaç üzerindeki ağaçların ağırlığının yarattığı sürsarj (ek yük) bile yamaç stabilitesine olumlu bir etki yapabilir. Odunsu vejetasyonun bütün bu hidromekanik etkileri, granitik yamaçlar üzerindeki tipik, sığ ve büyük ölçüde kohezyonsuz toprakların stabilizasyonunda özellikle önemli bir rol oynar.

Yamaçlar üzerindeki ormanların geniş çapta tahrip edilmesi, traşlama kesimle topluca ortadan kaldırılması, orman alanlarının tarım (çay, fındık vb.) alanlarına dönüştürülmesi ya da yangınla yok olması, stabilite problemlerinin ortaya çıkmasına yol açar. Dünyanın çeşitli ülkelerindeki etütlerin ortaya koyduğu bol miktardaki kanıtların yanı sıra, yurdumuzdaki birçok spesifik arazi etütlerinin sonuçları da bu hususu doğrulamaktadır.

1) 7-9 Ekim 1991 tarihleri arasında Ankara'da yapılan Yağış, Sel, Heyelan Sempozyumu'na (TMMOB 1991) sunulan çeşitli bildirimlerde de vejetasyonun yamaç ve şev stabilitesine katkıları üzerinde durulmuştur.



## KAYNAKLAR

- ANONİM 1973: *Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No. 200, Ankara.*
- ERİNÇ, S. 1968: *Jeomorfoloji-I. İ.Ü. Yayın No. 789. İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü Yayın No. 23, İstanbul*
- ERKUN, V.; BAKIR, Ö.; ALINOĞLU, N. 1960: *Çayır, Mera ve Yeşil Nebatları. Ziraat Vekâleti Meslekî Kitaplar Serisi: D-12, Ankara.*
- GRAY, D.H.; LEISER, A.T. 1982: *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinhold Co., New York, Toronto, London.*
- ROTHACHER, J. et al. 1967: *Hydrologic and Related Characteristics of Three Small Watersheds in the Oregon Cascades. Spec. Publ., U.S. Forest Service, PNW, Corvallis, Ore.*
- TMMOB 1991: *Yağış, Sel, Heyelan Sempozyumu (Bildiriler). Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Yayın, Ankara.*
- ULUSAY, R. 1982: *Şev Stabilite Analizlerinde Kullanılan Pratik Yöntemler ve Jeoteknik Çalışmalar. M.T.A. Eğitim Serisi No. 25, Ankara.*
- UZUNSOY, O.; GÖRCELİOĞLU, E. 1985: *Havza Islahında Temel İlke ve Uygulamalar. İ.Ü. Yayın No. 3310, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 371, İstanbul.*
- VARNES, D.J. 1958: *Landslide Types and Processes. Landslides and Engineering Practice (Edt. E.B. Eckel), HRB Spec. Rept. 29. NAS-NRC, Washington, D.C.*
- WALDRON, L.J. 1977: *Shear Resistance of Root-Permeated Homogenous and Stratified Soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41, s. 843-849.*
- WANG, W.J.; YEN, B.C. 1974: *Soil Arching in Slopes. J. Geotech. Engr. Division, ASCE 100 (GTI), s. 61-78.*