
SERİ

B

CİLT

45

SAYI

3-4

1995

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



ORMAN YOL AĞLARI, HEYELANLAR VE MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

Doç. Dr. H. Hulusi ACAR¹⁾
Y. Doç. Dr. Necmettin ŞENTÜRK²⁾

Kısa Özet

Orman işletmesi ile ilgili her türlü teknik ve idari işlerin yapılması ve üretilen orman ürünlerinin orman içinden tüketim yerlerine kadar taşınması amacıyla planlanan ve inşa edilen orman yolları, rasyonel ve sürdürülebilir ormancılığın vazgeçilmez bir ögesidir.

Ormancılık faaliyetlerinin yürütülebilmesi ve ormanların işletmeye açılması amacıyla planlanan ve inşa edilen orman yollarının meşcereye, toprağa ve doğal peyzaja verebilecek zararları en düşük düzeyde tutabilmek için planlama sırasında zeminin ve arazinin iyi etüt edilip, doğru tespitlerin yapılması gerekir. Bu etüt ve tespitler için, Mühendislik Jeolojisi'nin günümüze kadar süregelen gelişimi sonucu elde edilen bilgi birikiminden yararlanılmalıdır.

Çünkü Mühendislik Jeolojisi'nin yolların planlanması, yapımı, bakımı ve tamiri aşamalarında önemli bir yeri vardır. Orman yollarında her zaman amaca uygunluk, güvenlik ve ekonomiklik öğeleri bir denge oluşturmalıdır. Bu öğelerden birisinin daha çok önem kazanması bu dengeyi bozar. Bu nedenle, Orman Yol Şebekelerinin Planlanması ve inşası sırasında Orman Mühendisliği disiplinleri yanında Mühendislik Jeolojisi'nden de yararlanılmalıdır.

Bu çalışmada, Mühendislik Jeolojisi'nin orman yol ağlarının planlanması ve yapımındaki önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Ormancılık; yetiştirme, koruma, üretim, taşıma ve pazarlama faaliyetleri ile bir bütün oluşturmaktadır. Bu faaliyetler ise büyük ölçüde ormanın koşullarına, ormancılığın amaç ve isteklerine göre planlanan ve zamanında inşaatı, onarımı ve bakımı yapılan uygun standartlı orman yollarının varlığı ile gerçekleştirilmektedir (SEÇKİN 1984).

¹⁾ K.T.Ü. Orman Fakültesi, 61080 Trabzon

²⁾ İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı

Ülkemizdeki ormancılık çalışmaları, ülkemizin değişik iklim ve topoğrafik koşullarında bulunan orman alanları üzerinde yürütülmektedir. Bu kadar geniş ve dağınık, hatta çoğunlukla dağlık arazilerde bulunan orman alanlarında ormancılık tekniklerine uygun çalışmaların yapılabilmesi için, bu alanların iyi bir yol ağına sahip olması gerekir. Orman yolları her yıl üretilen aslı orman ürünlerinin, üretildiği yerden depolara veya fabrikalara taşınmasına olanak sağladığı gibi, orman koruma, orman kadastrosu, orman amenajmanı, erozyon ve ağaçlandırma çalışmaları gibi teknik ormancılık hizmetlerinin yürütülmesinde ve orman köylülerinin yol ihtiyaçlarının ve halkın rekreasyonel isteklerinin karşılanmasında da önemli rol oynamaktadır (ERDAŞ ve ark. 1995).

Ormancılık faaliyetlerinin tekniğine uygun olarak sürdürülebilmesi için, gerekli olan yolların doğaya uygun olarak planlanması ve yapımı sırasında, zeminin ve arazinin iyi etüt edilip, doğru tespitlerde bulunulması gerekir. Bu çalışmalar için Mühendislik Jeolojisi'nin günümüze kadar süregelen gelişimi sonucu elde edilen bilgi birikiminden yararlanılmalıdır.

Arazi ve zemin etütleri yapılmadan; planlanan ve yapımı gerçekleştirilen bir yolun, heyelanlı bir bölgeden geçmesi halinde yolun yıkılması veya taşıma kabiliyeti az olan bir zeminden, hiç bir önlem alınmadan geçmesi kısa bir süre sonra yol platformunda bozulmaların başlamasına ve yolun görev yapamamasına neden olacaktır ki buda o yörede yapılacak veya yapılması gereken ormancılık çalışmalarının aksamasına veya yapılmamasına neden olacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bayoğlu (1968) yol inşaatına yönelik yapılan zemin etüdlerinin esas itibariyle iki amacının olduğunu belirtmiştir. Bunlardan birincisi doğal toprak birikintilerinin veya kazıdan elde edilen toprağın, dolduru temeli olarak kullanılabilir nitelikte olup olmadığını tespit etmek. Diğeride toprağın inşaat malzemesi yani yolda üst yapı malzemesi olarak kullanılabilir niteliğinin tayinidir.

Heyelan bölgelerinde orman yolu yapımında proje ve uygulama esaslarının incelendiği bir çalışmada, heyelanlı bölgelerin tespit edilmesinin önemi vurgulanmış, daha sonra bu alanlarda ki çalışmalar sırasında nasıl bir yol izleneceğine değinilmiştir (ERDAŞ ve ark. 1995).

Erdaş (1980) tarafından yapılan bir çalışmada, tabii orman zeminlerinin taşıma kabiliyeti incelenmiş ve zeminin taşıma kabiliyetinin taşımacığa olan etkileri üzerinde durulmuştur.

Bitki örtüsü ile zemin arasındaki ilişkiyi yamaç stabilitesi ve mühendislik biyolojisi yönünden inceleyen bir çalışmada, bitki örtüsünün uygun kullanıldığı taktirde, kök sistemi vasıtasıyla zeminin kesme mukavemetini, dolayısıyla şev ve yamaçların stabilitesini arttırdığı tespit edilmiştir (ERDAŞ 1978).

Görcelioğlu(1991) tarafından yapılan bir çalışmada, bitki örtüsünün yamaç ve şev stabilitesine etkileri incelemiş ve özellikle derine inen kök sistemlerine sahip odunsu bitkilerin zeminin kesme kuvvetini arttırdığı, evapotranspirasyon yoluyla topraktaki suyun dengelendiği belirtilmiştir.

Güney İngiltere'de yol platformu kazı alanı içinde olan yollar mühendislik jeolojisi açısından incelemiş, bu tür yolların doğaya uygun olduğu ve kazı alanı içinden geçtiği için şev stabilitesinin iyi olduğu, buna rağmen şevlerin erozyona açık olduğu belirtmiştir. Bunun içinde, şevlerin yeşillendirilmesi, şevlere naylon ve metal ağların serilmesi gibi önlemlerden söz edebilmiştir (BARTON 1986).

Cook veYounger (1986) tarafından, Malezya'nın Kuzey Borneo Bölgesi'ndeki dağlık arazilerde, sahil mintikalarında ve sedimenter kayaların bulunduğu alanlarda yapılan bir araştır-

mada, bu alanlarda gerçekleştirilecek yol projelerinde karşılaşılabilecek problemler ortaya konulmuş, zor topoğrafik ve jeoteknik koşullarda çalışırken karşılaşılan bu problemlerin çözümleri için, yol standartlarını düşürmek veya değiştirmek, kil ve benzeri zeminlerde ve yeni alüvyon alanlarında şev yapımından kaçınmak, kumtaşı ya da çamurlu yüzeylerde şev yüksekliğini mümkün olduğunca düşük tutmak, su miktarı fazla olan eğimli alanlar üzerindeki şevleri istinat duvarı ile desteklemek, gerekli yerlerde köprü veya viyadük planlamak, toprak üzerinde gereğinden fazla yarma, kesme ve doldurudan kaçınmak gibi tedbirler belirtilmiştir.

Düzgün ve arkadaşları (1996) tarafından yapılan bir çalışmada, şev yüksekliği ve şev açısının artmasıyla, kaya şevlerinde kayma olasılığının arttığı belirtilmiştir.

Clayton (1983) yaptığı çalışmasında, yol yapımından önce yamaç stabilitesinin incelenmesi gerektiği üzerinde durmuştur. İnşaat öncesi yapılan bu incelemelerin, drenaj tesislerinin yerinin belirlenmesi ya da yol stabilizasyonunun gereği olarak, yolun nereden geçeceğinin ortaya konması için gerekli olduğunu ifade etmiştir.

Orman yollarındaki toprak erozyonunun azaltılması konusunda yapılan bir araştırmada, erozyon kontrol çalışmalarının sonucu olarak, orman yollarından kaynaklanan erozyonun azalmasının miktar olarak tahmin edildiği belirtilmiştir (BURROUGHS/KING 1989).

Tochiki ve Kaibori (1990) tarafından yapılan bir çalışmada, Hiroşima'nın kuzeybatı bölgesindeki orman yolları boyunca meydana gelen yamaç bozulmalarının ve materyal akmalarının ana nedeninin, şiddetli yağmurlar sırasında orman yolu üzerinde akan sular olduğu ifade edilmiştir.

Şentürk (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, zemin etütleri yapılmadan veya göz-önünde bulundurulmadan yapılan plan ve çalışmalar çok daha masraf gerektireceği için, yolun yapım ve bakımının ekonomik olmayacağı ve öngörülen hizmet süresince yolun kendisinden beklenen görevi de aksatmadan yerine getiremeyeceği belirtilmiştir.

Diğer mühendislik yapılarında olduğu gibi yol yapımında da amaç; yapının fonksiyonuna bağlı olarak, taşıtlardan doğacak statik ve dinamik etkilere, diğer dış etkilere ve yapıyı meydana getiren malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanan iç etkilere karşılık, gerek kendi bünyesinde ve gerekse oturduğu doğal zeminde kalıcı deformasyonlar meydana getirmeden yeterli güvenlik ve teknik özellikte ekonomik bir yol yapımını sağlamaktır (ERDAŞ 1997).

3. ORMAN YOL AĞLARININ OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ormanların korunması, işletmeye açılması, orman ürünlerinin taşınması ile ilgili olan her türlü teknik ve idari işlerin gerçekleştirilmesinde gerekli olan orman yolları, ana, tali ve traktör yolu olarak üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan hangisinin nerede inşa edileceğine karar vermede, bu yollar üzerinde taşınacak hacim miktarları etkili olmaktadır.

Ana orman yolları, orman yol ağının esasını oluşturan ve devamlı kullanılan yollar olduğu için yeterli ölçüde drenaj tesislerini, sanat yapılarını ve uygun kalınlıkta bir üst yapıyı gerektirirler.

Tali orman yolları, orman içine nüfuz eden ya da orman içi istif yerleri ile ana orman yolları arasındaki bağlantıyı sağlayan yollardır. Bu yollar çoğu kez üst yapısız olup, yıl boyunca kullanımı her zaman söz konusu değildir. Tali orman yolları üzerindeki transport, kuru zemin ve iyi hava koşulları ile sınırlıdır. Tali orman yolları, A Tipi Tali Orman Yolu ve B Tipi Tali Orman Yolu olmak üzere ikiye ayrılır.

Mekanizasyon uygulaması henüz başlamayan üretim sahalarında sürütülerek dere

içlerinde belirli bir rampada toplanan emvalin, mevcut yollara sürütülmesinin imkansız olması halinde, rampadaki bu emvali almak amacıyla yapılan geçici yollara da Traktör Yolu denilmektedir.

Bir yol ağının planlanması topografik ve jeolojik koşulların etüt edilmesi ile başlar. Jeolojik haritaların yanında arazide mevcut dolgular, faylar, heyelan bölgeleri v.b. yol ağlarının oluşturulmasına ışık tutacak oluşumlardır. Bu arada zeminin stabilitesi, taşıma yeteneği, hidrojeolojik yapı ile kazı ve dolduru malzemesi olarak kullanılabilirliği yolun geçki etüdünde son derece önemlidir. Bu faktörlerin zamanında bilinmesinin yapım sırasında yolun uygulanabilme olanağına katkısı son derece büyük olup yapım aşamasında yol giderlerinden büyük ölçüde tasarruf sağlanabilir (DÜZGÜN ve ark. 1996).

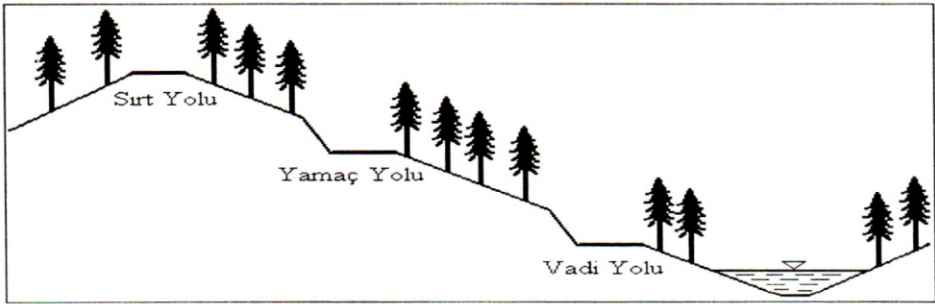
Heyelan bölgelerinde orman yolu yapmak gerektiğinde, proje aşamasında konveks yamaçlarda yol geçkisi yamaç alt kısmına isabet ettirilmeli, tabakalı (geçirgen-geçirgen olmayan) yamaçlarda derin kazı yapılmamalı, yol geçkilerinde dolduru kısmı su kaynaklarına isabet ettirilmemeli ve yolun üst yapı ve alt yapı inşaatında gerekli teknik önlemlere uygun hareket edilmelidir (DAVIES/HUGHES 1991).

Klimatik faktörler olarak yıllık yağış miktarı ile, bunun aylara ve mevsimlere göre dağılışı, kar ve don durumu, erozyon tehlikesi yolun planlanmasında dikkate alınmalıdır. Yerel iklim koşulları orman işletmeciliğini etkilediği gibi yol ağlarının oluşturulmasını da etkiler. Orman yollarının yapımı ve bakımı açısından güneye bakan ve kurak olan yamaçlar daha uygundur.

Yerel su koşulları yol ağlarının oluşturulmasında en az diğer faktörler kadar etkilidir. Öncelikle suyun yola zarar verici bir unsur olduğu ve onu en uygun eğim uygulayarak en zararsız şekilde akıtmanın gerekliliği gözden uzak tutulmamalıdır. Ana orman yollarının çoğunluğu vadi yolları olduğu için, bu yolların taşıma kapasiteleri ve yapım giderleri oldukça yüksektir. Bu nedenle bu yolların akarsuların olumsuz etkilerinden korunmaları gerekir.

Ormanların iç kısımlarına ulaşım genellikle yamaç yolları ile sağlanır. Yamaç yolları dağlık alanlarda söz konusu olmaktadır. Yamaç yollarında, su akıtma hendeklerine ve hendeklerde toplanan suların yol platformuna zarar vermeden yamaç tarafına akıtılmasını sağlayacak olan sanat yapılarına son derece önem verilmelidir. Ayrıca kazı ve dolgu şevleri yüzeyleri erozyona karşı mutlaka korunmalıdır.

Sırt yolları, sırt ve sırtlara yakın yerlerde özellikle dağlık alanlardaki yerleşim birimlerinin birbirine bağlanması amacıyla planlanan yollardır. Su ayırım çizgilerine yakın olmaları nedeniyle sağlam ve kuru yollardır. Yapımları kolaydır ve sanat yapıları gerektirmez. Sırt yolları orman yol ağları içerisinde, ormanları işletmeye açma yönünden büyük önem taşımazlar.



Şekil 1: Vadi, yamaç ve sırt yollarının konumu

Orman yol planlamasında vadi şekillerinin etkisi oldukça belirgindir. Vadi şekilleri ise arazinin jeolojik yapısına bağlıdır. Topografik ve jeolojik yapıya göre bir vadinin su toplama havzası çok farklı şekiller gösterir.

Kayalıklardan oluşan vadiler yol planlaması ve yapımı yönünden oldukça büyük sorunları olan alanlardır. Bu gibi alanlarda hem yol yapımında teknik ve ekonomik sorunlarla, hem de orman işletmeciliğinin gereği olarak üretilen orman ürünlerinin bölmeden çıkarılmasında büyük zorluklarla karşılaşmaktadır. Böyle yerlerde ya orman yolunu mümkünse kayalık arazinin yukarısından geçirmek yada bölmeden çıkarmada hava hatlarını kullanmak uygun olacaktır.

Orman yollarının planlama, yapım, tamir ve bakım aşamalarının bütün safhalarında, Mühendislik Jeolojisi'nin önemli bir yeri vardır. Çünkü, orman yollarının en önemli üç özelliği **amaca uygunluk, güvenlik ve ekonomikliktir**. Bu üç ögenin bir denge oluşturması gerekir. Bu ögelerden birinin daha çok önem kazanması bu dengeyi bozar (ŞENTÜRK 1992).

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Mühendislik projelerinin maliyeti, projenin uygulanacağı arazinin jeolojik özellikleriyle yakından ilgilidir. Mühendislik çalışmaları için proje sahasındaki zemin ya da kayaların jeolojik ve mekanik özelliklerinin bilinmesi, inşaat esnasında ve sonrasında karşılaşılabilecek problemlerin önceden bilinmesini sağlar ve inşaat için gerekli hazırlık çalışmalarının yapılmasını kolaylaştırır. Ayrıca projelerin ekonomik yönünü ortaya koyar. Proje sahasındaki kaya veya zeminin özelliklerini ortaya koymak için yapılacak çalışmaların maliyeti, tüm proje maliyetinin % 2'si civarındadır. Bu nedenle kaya ve zemin özelliklerine ilişkin araştırmaların yapılmaması durumunda, sonradan çıkacak problemlerin çözümü için harcanacak para miktarı, bu oranın çok üstünde olacak ve aynı zamanda projenin tamamlanması için belirlenen tarih gecikecektir.

Mühendislik projeleri ile ilgili olarak yapılması gerekli mühendislik jeolojisi çalışmaları dört aşamada gerçekleştirilir. Bunlar:

- 1- Ön çalışmalar,
- 2- Ayrıntılı arazi çalışmaları,
 - a- Yüzey çalışmaları
 - b- Yeraltı çalışmaları
 - c- Laboratuvar çalışmaları
- 3- İnşaat sırasında yapılan çalışmalar,
- 4- İnşaat sonrası yapılan çalışmalardır.

Yol güzergahının, taşıma kapasitesi yüksek zeminler üzerinden geçirilmesi gerekmektedir. Ayrışmamış sağlam kayanın taşıma kabiliyeti çok yüksektir. Bu nedenle yol platformunun sağlamlığını, dolayısıyla uzun yıllar deforme olmadan kullanılmasını sağlamaktadır. Yamaç eğiminin çok yüksek olmaması koşulu ile, yapılan kazılarda şevlerin stabilite sorunu olmamaktadır. Bununla beraber, şevlerin yüksekliği ve şev açıları arttıkça, buna bağlı olarak kayma ve kopma olasılığı artmaktadır (DÜZGÜN ve ark. 1996).

Yola zemin olacak kayanın ayrışmış olması ve sağlamlığını yitirmesi, yolun geleceği açısından iyi değildir. Zira, ayrışma sonucu parçalanmış kayalar zamanla dökülür. Şevlerin stabilitesini sağlamak zorlaşır. Trafikten dolayı meydana gelen yüklenmeler, zeminin çatlamasına ve çatlaklar boyunca kaymasına neden olur.

Kayalık alanlar, yola sağlam temel oluşturmasının aksine, bu alanlarda çalışmanın çok zor olduğu yol yapım maliyetlerini arttırmaktadır. Çünkü, yol platformunun oluşturulabilmesi için öncelikle kayaların delinip dinamiklerle patlatılarak düzeltilmesi gerekir ki bu işlem hem tehlikeli

hemde pahalıdır. Patlatma sırasında çok büyük titreşimler meydana geldiğinden, yakın bölgede çatlamlar ve yıkılmalar meydana gelir. Bu çatlaklar daha sonra meydana gelebilecek heyelanların ana nedenlerinden birisidir.

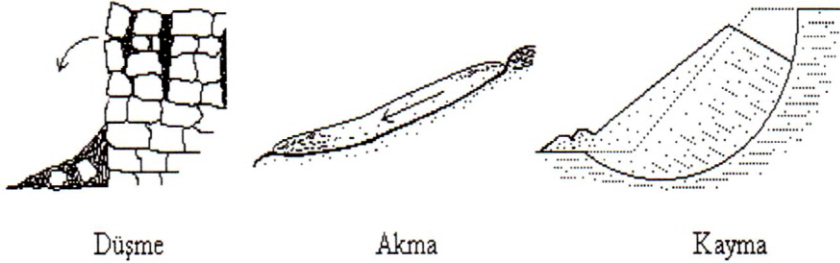
Yol yapımında daha çok iri taneli malzeme tercih edilir. Killi malzemenin çeşitli sakinçaları vardır. Özellikle bu malzemelerin, yol gövdesinde yüzeye yakın bir yerde bulunmaları pek istenmez (SONUÇ 1976; GLANVILLE 1970; UMAR/YAYLA 1995).

Doğal halde bulunan zemin tanelerinin, tane biçimi çoğunlukla bunların dayanıklılık ve sağlamlıkları hakkında bir fikir verir. Kayaların kırılmasıyla meydana gelen yuvarlağa yakın taneler oldukça sağlamdırlar. Buna karşılık yassı ve plak biçimindeki tanecekler zayıf ve gevrek olduğu için yol yapımına pek uygun değildir.

Temel tabakası olarak kullanılan taneli zemin karışımları içinde pek az kil bulunduğundan bu tabakaların direncinde etkili ana faktör iri tanelerin biçimi olmaktadır. Sağlam ve dayanıklı bir kaya ya da çakılın kırılmasından dolayı ortaya çıkan köşeli tane biçimi zemin kitlesinin yük altında deformasyonuna olan direncini artırır. Bu nedenle uygulamada, temel tabakası ile ilgili şartnamelerin çoğunda bu tabakayı oluşturacak malzemenin belirli bir oranda kırılmış kaya veya çakıl ihtiva etmesi istenir.

5. HEYELANLAR

Doğal kaya, her çeşit zemin, yapay dolgu malzemesi ve bunların bileşimlerinden meydana gelen malzemelerin aşağıya ve dışa doğru olan hareketlerine **heyelan** denir. Yani, zeminde stabilite bozuklukları sonucu bir takım hareketler meydana gelir. Bu hareketler düşme, kayma ve akma olarak üç ana grupta toplanabilir (Şekil 2) (COOK/YOUNGER 1986; ÇAĞLARER 1986).



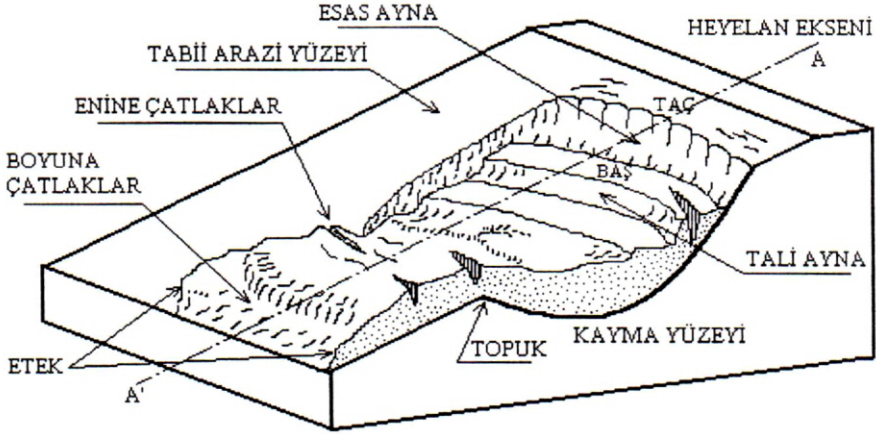
Şekil 2: Heyelanı meydana getiren hareket biçimleri

Düşme daha çok kayalık zeminlerde ve kaya şevlerinde rastlanan bir hareket türüdür. Kaya yarmalarda ve kaya şevlerindeki kaya tabakaları, kaya dilimlerinin kitle içindeki birleşim nokta ve yüzeylerindeki zayıflık ve şev eğimleri dolayısıyla belirecek itici ve kaydırıcı kuvvetlerle birleşerek kaya düşmelerine yol açar. Düşmelerin başka bir oluşum nedeni de yamaç diplerinin akarsu, göl ve deniz ya da başka etkenlerce erozyona uğratılmasıdır (WITHLOW 1995).

Akmalarda hareket eden kitlenin hareket biçimi ve içindeki malzemenin aldığı durum ve biçim bir sıvının akışına benzer. Bunlar bir kayma yüzeyi üzerinde olmayan hareketlerdir. Kaya parçaları, birikinti maddeleri, çeşitli boydaki granüler malzeme, kil ya da siltler akıntı kitlesini meydana getirirler. Akan kitlenin su içeriği, akımın hızına etki eder. Su içeriği çok olanlar hızlı, az olanlar yavaş akar.

Kaymalarda hareket, bir kayma yüzeyi üzerinde kitlenin kayması ile olur. Yani şevlerdeki zemin kitlesi daha alta bulunan bir yüzey üzerinde hareket eder. Kayma yüzeyleri bir eğri yüzey veya bir düz yüzey olabilir. Kaymalar şev sorunları içinde en önemli bir grubu oluşturur (ÇAĞLARER 1976; ATALAY/BEKAROĞLU 1973).

Yamaç ve şev terimleri esas itibariyle eğimli arazi parçalarını kapsamakta ancak, yamaç doğal, şev ise yapay bir oluşumu ifade etmektedir (DÜZGÜN ve arkadaşları 1996). Yamaçlarda, yamaç eğiminin asgariye indiği bölgeye **etek**, şev eğiminin pratik olarak sıfır olduğu noktaya **şev topuğu**, heyelanın en yüksek noktasına **taç**, heyelan sonucu açılan yüzeye **heyelan aynası** adı verilir (Şekil 3) (UTKU 1975).



Şekil 3: Heyelan kısımlarının isimlendirilmesi (ÇAĞLARER, 1986)

5.1 Heyelan Nedenleri

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

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 kontrol edilmesinde en etkili çözümler arasında yer alır.

Yamaçlarda denge kaybına yol açan faktörler arasında en sık görüleni, doğal etmenler ya da şevin yanal destekten yoksun kalmasıdır. Bu gözlem, şev topuklarında istinat duvarları yapılmasının önemini ortaya koymaktadır. Erozyon, şevde yanal desteğin kalkmasına neden olur. Ayrıca yamaç altında seyreden akarsular kazıntı ve oyuntular meydana getirerek, yamaçın alt kısmını boşaltır. Bunun sonucu olarak yamaçta çökmeler meydana gelir.

Yamaç üzerindeki yükün artması, stabilitenin bozulmasına neden olur. Yükün artması çok çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelebilir. Yağmur, kar, dolu ve kaynak suları, zemin tarafından emilir. Emilen bu su, yamaç yükünü çok fazla artırır. Ayrıca yamaç üzerinde dolgu yapılması, kazılardan çıkan malzemenin yamaçta dökülmesi, maden cevheri veya kaya depo

edilmesi, binalar ve diğer yapılar, transport yükü gibi etkiler, yamaç yükünü arttıran etmenler arasındadır. Yer sarsıntıları, yol inşaatı sırasında kullanılan patlayıcı maddelerin, kullanılan iş makineleri ve taşıtların meydana getirdiği sarsıntılar, potansiyel heyelan alanlarında, şev stabilitesini bozmakta ve heyelan oluşumlarını hızlandırmaktadır.

Bitki örtüsü, toprak kitlesinde denge kaybına neden olan faktör ve koşullardan bir çoğunu ortadan kaldırabilir ya da iyileştirebilir. Bir yamaç ya da şev üzerinde yetişen odunsu bitkiler, kökleri vasıtasıyla toprağın kaymaya karşı direncini artırır, toprakta nem fazlalığından doğan sürtünme zayıflamasını ve su nedeniyle ortaya çıkan ek yükü evapotranspirasyon yoluyla azaltır; ayrıca ağaç gövdelerinin toprak kitlesini tutucu ve destekleyici etkisi sayesinde bitki örtüsü, yamaç stabilitesinin artırılmasında etkin rol oynar (ATALAY/BEKAROĞLU 1973; DÜZGÜN ve ark. 1996).

Bir çok heyelan, arazinin doğal seyrinin insanlar tarafından bozulması ile olmaktadır. Bu nedenle, arazinin doğal yapısının değiştirilmesiyle oluşabilecek heyelanların önlenmesi için, arazi üzerinde yapılacak çalışmalar sırasında;

- Yamaçlarda yapılacak dolgularla yeraltı su akışının engellenmemesi,
- Oldukça zayıf bir zeminin dolgu ile aşırı derecede yüklenmemesi,
- Yamaçlardaki dolgularla, meyilli tabakaların aşırı derecede yüklenmemesi,
- Stabil olmayan zeminlerde ve kayalık alanlardaki yarmaların aşırı derecede yüklenmemesi,
- Yarma yapmak suretiyle, yumuşak bir zemin üzerinde tabii bir tutucu örtü görevi yapan kalın ve geçirimli zeminin kaldırılmaması,
- Yarma veya dolgu ile yeraltı su tabakasının karakterini veya akış doğrultusunu değiştirmek suretiyle sızma basıncının arttırılmaması,
- Yüzeysel suların etkisiyle yumuşayabilen ince çatlaklı killerin yarma açmak suretiyle açığa çıkarılmaması,
- Dik yamaçlarda yarma yapılmaması

gibi hususlara dikkat edilmelidir (ATALAY/ BEKAROĞLU 1973).

5.2 Yol Yapımı Sırasında Alınacak Önlemler

Sıfır çizgisini takip eden bir yol inşaatında bir heyelan problemiyle karşılaşılması ihtimali, modern iş makineleri ile yapılan büyük kanal inşaatlarına, büyük yarma ve dolgulara oranla oldukça azdır. Çünkü, ikincisinde arazinin doğal topoğrafyasına genellikle olumsuz bir şekilde yapay olarak ani müdahale yapılmaktadır. Bu durum arazi yapısı içinde istenmeyen hidrostatik basınçlar doğuracak ve gerilme durumlarını çok olumsuz şekilde etkileyerek, araziyi bir bakıma heyelana zorlayacaktır. Bu konular planlama aşamasında dikkate alınmadığı takdirde, inşaatın bitiminden sonra dengesi bozulan arazide bir kayma meydana gelecektir (UTKU 1975).

Ayrıca yamaç eğiminin fazla olması halinde yolun dolduru ve kazı hacmi artmaktadır. Bu da yamaç stabilitesi için olumsuz bir etmenddir. Bu gibi yamaç eğiminin fazla olduğu yerlerde, yol güzergahının sıfır hattından alçak veya yüksek kalmasıyla beraber, zaten fazla olan kazı ve dolduru miktarı daha da artmaktadır. Bu nedenle yamaç eğiminin fazla olduğu bölgelerde, sıfır hattından fazla sapmamaya özellikle dikkat edilmelidir.

Yol yapımı sırasında heyelan önleme tedbirlerinin alınabilmesi için, yol yapımına başlamadan önce doğal zeminin iyi bir şekilde etüt edilmesi ve bu zeminde daha önce bir heyelanın olup olmadığının ve heyelan ihtimalinin saptanması gerekir. Heyelan önleme tedbirleri bu saptan-

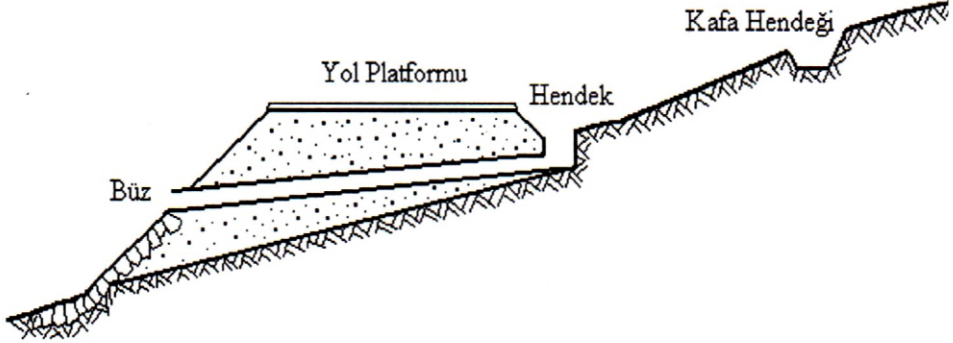
ma sonucu belirlenir. Heyelanların önlenmesi için alınacak tedbirleri dört ana gurup altında toplayabiliriz:

5.2.1 Yol Güzergahının Uygun Bir Biçimde Tespiti

Yol güzergahı, potansiyel bir heyelanın bulunduğu ya da bir heyelan ihtimalinin olduğu yerlerden geçirilmemelidir. Çünkü, potansiyel bir heyelan alanında dolgu yükünün olabildiğince az olması gerekir. Dolgu yükünün azaltılması kırmızı hatta ve yolun standartlarında fedakarlıkları gerektirir (ÇAĞLARER 1976). Özellikle tabakalı bir yapı gösteren yamaçlarda derin kazılar yapmaktan kaçınılmalıdır (BURROUGHS/KING 1990; ERDAŞ 1997).

5.2.2 Yerüstü ve Yeraltı Sularının Drenajı

Yüzeysel drenajı, drenaj tedbirleri içinde tamamen görecelik ve hakim olarak yapılan bir işlemdir. Yüzeysel drenaj sistemleri ile, heyelanların oluşmasına neden olan suların dolgu tabanına girmesi önlenir. Çünkü, yüzeysel drenaj sistemlerinin ilk hedefi, kazı, dolgu ve tesviye alanı çevresinde iyi bir akıntı sağlamaktır. Bu nedenle böyle yerlerde, yüzeysel suların beklemeden, birikmeden akmasını sağlayacak yüzeysel drenaj tesislerinin yapılması gereklidir. Dolguya doğru gelen sular bir hendekte tutulur. Bu hendek, yolu enine kesen bir menfez ya da büz ile birleştirilir. Yol yüzeyi bir veya iki yöne doğru eğimlendirilerek, yol üzerinde su birikmesi önlenir. Dik yamaçlarda akıp gelen fazla sular, bazı hallerde kenar hendekleri kapasitesini aşarak yolların kapanmasına, zarar görmesine neden olurlar. Bu nedenle fazla yağış alan dik yamaçlarda kazı şevinin 4-5 m üzerinde **kafa hendeği** adı verilen ve fazla derin olmayan (30-90 cm) trapez kesitli suyu kesici hendekler açılır (Şekil 4) (ÖZÇELİK 1982). Yani, yüzeysel suların yol platformuna zarar vermemesi için, yol yüzeyine tek taraflı veya iki taraflı enine eğim verilmesi, kenar ve kafa hendekleri, yükseltilmiş kenarlı dolduru banketleri ve düşüm oluklarının yapılması gereklidir (BAYOĞLU 1997).



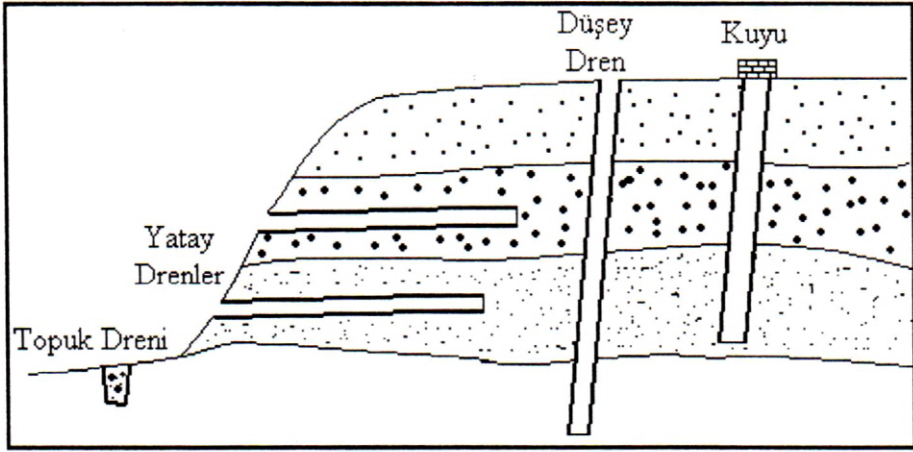
Şekil 4: Yüzeysel suların yol platformundan uzaklaştırılması

Yeraltı sularının, drenajında titiz davranmak gerekir. Çünkü, zeminlerde dilim, tabaka ve yatak yüzeyleri gibi birleşim kesimlerindeki doğal akıntı ve sızıntı yolları boyunca bulunan yer altı suları drene edilmez ise, bu sular bir hidrostatik basınç oluşturarak kayma, çatlama ve dökülmelere yol açar. Zira, dolgu altındaki zeminin su muhtevasının yüksek olması kayma direncini düşürür. Kohezyonlu zeminlerde bu düşük kayma direncine kaydırıcı güçler doğuran dolgu yükü eklenince, dolgu tabanı stabilitesi bozulup bir kayma yüzeyi boyunca kaymaya

başlar. Diğer taraftan dolgu tabanında bulunan tabii drenaj durumu, yükün gelmesi ile bir takım bozulmalara neden olur. Dolgu yükü tabii drenaj mecralarını daraltır ve akımı güçleştirir. Bunun sonucu olarak yeraltı suyunun hidrostatik basıncı artar. Geçirimsiz zeminin üst yüzeyinde su miktarının artması, bu yüzeyin üstünde bulunan zemin kütlesi ile aralarındaki sürtünme direncini azaltır. Sudan dolayı zeminin ağırlığının artması, sürtünme dirençlerinin azalması ve ağırlık nedeniyle kaydırma kuvvetlerinin artmasıyla, dolgu kitlesini taşıyan zemin geçirimsiz zemin üzerinde kayar. Bu durumun önlenmesi için dolgu tabanındaki su yüzeyinin, geçirimsiz zemin üst düzeyinin altına indirilerek, hidrolik basıncın düşürülmesi gerekir (ÇAĞLARER 1986).

Yeraltı sularının drenajında çevirme hendeki, kuyu, düşey dren, yatay dren ve topuk dreni kullanılır (Şekil 5). Bu drenler, toplayıcı ana hendek ve yan hendek biçiminde olurlar. Sızarak bu drenlerde toplanan sular, yardımcı kanallar vasıtasıyla uzaklaştırılır. Taban toprağının geçirgen olmayışı, hendeklerin etkinliğini artırır (ÖZÇELİK 1982).

Gerek yüzeysel ve gerekse yer altı sularına karşı alınacak önlemler, genel önlem alma harcamalarını azaltıp, tasarruf sağlayan önlemler olarak önerilebilir (ÇAĞLARER 1986).

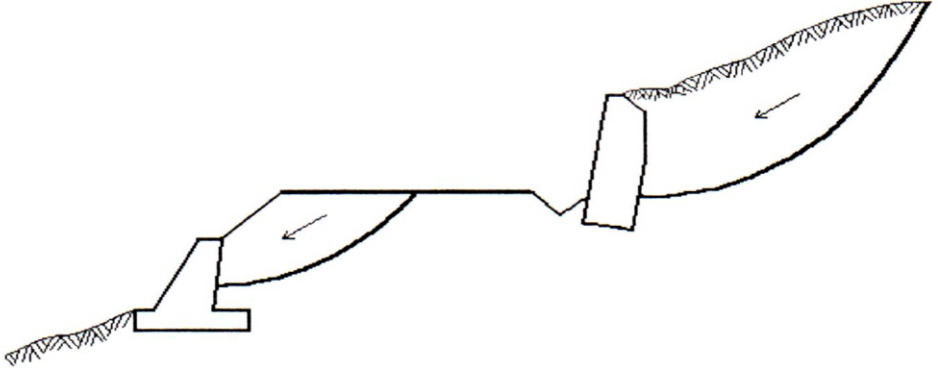


Şekil 5: Yeraltı sularının drenajı

5.2.3 İstinat Duvarlarının Yapılması

Dolgu tabanındaki heyelanların önlenmesi için, harekete karşı koyan kuvvetlerin artırılması gerekir. Bu nedenle hareket eden kitlenin topuğuna ahşap, beton ya da çelik kazıklar çakmak veya taş ve beton duvarlar (istinat duvarları) yapmak gerekir. Bu şekildeki yapılarda dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar vardır. Duvar boyutlarının saptanabilmesi için arkadaki toprak basıncının, su alması halinde suyun kaldırma kuvvetinin göz önünde bulundurulmasına ve duvarın sağlam zemine oturtulmasına dikkat etmek gerekir. Harekete neden olan kuvvetlerin ve toprak basıncının azaltılması için, hareket eden kitlenin üst kısımları kazılarak kademelendirilir. Suyun basıncını, suyun kaldırma ve itme kuvvetini yok edebilmek için, istinat duvarlarına drenaj delikleri (Barbakan), duvarların arka tarafına ise drenajı sağlayacak granüler malzeme konmalıdır. Sağlam zeminin derin olması halinde, istinat duvarı beton kazıklarla desteklenerek sağlam zeminle irtibatı sağlanır. İstinat duvarlarının alt tarafında kazı yapılmaması gerekir. Aksi halde kazıya bağlı olarak kendileri de kaydırıcı kuvvet durumuna gelerek yıkılmalarına neden olurlar (TARHAN 1996).

İstinat duvarları, arazinin dik yamaçlarının kayarak bozulmaması, dolgu şev eteklerinin tutulması, kazı şevlerinde olan oyulma ve dökülme olaylarının önlenmesi amacıyla kullanılır (Şekil 6) (TÜMERKAN 1976).



Şekil 6: İstinat duvarları

5.2.4 Yamaç ve Şevlerin Ağaçlandırılması

Yamaç ve şevlerde yüzeysel erozyonun önlenmesi bakımından vejetasyonun yararları bilinmekte ve bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Vejetasyon, öncelikle de odunsu bitkiler, yamaç ve şevlerdeki kitle hareketinin, özellikle sığ kaymaların önlenmesinde yararlı olmaktadır. Bilindiği gibi, yamaç ve şev stabilitesini etkileyen faktörler kaymayı arttıran ve kayma direncini azaltan faktörler olmak üzere guruplandırılabilir.

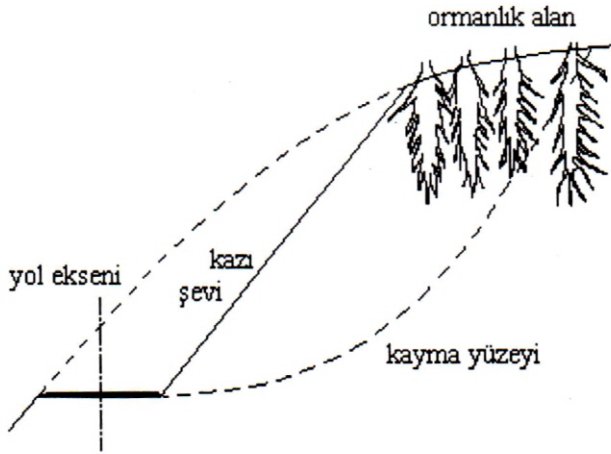
Odunsu vejetasyonun, bir yamaç yada şevdeki kuvvetlerin dengesini **kök desteği, toprak rutubetini değiştirme, payanda ve kemer etkisi, sürşarj ve köklerin kama etkisi** şeklinde etkilemesi mümkündür.

Herhangi bir yamaçta bitki örtüsünün yamacın stabilizasyonu üzerine etkili olup olmaması kayma yüzeyinin derinliğine bağlıdır (Şekil 7). Çünkü, bitki ve bitki kökleri kayma yüzeyinin üst bölgesinde bulunuyorsa, yamacın stabilitesi açısından hiç bir olumlu görev üstlenemez ve yamaç için ağırlıktan başka bir değer oluşturmaz.

Bitki köklerinin kayma yüzeyi üst bölgesinde kalıp kalmayacağı yamaca yapılacak müdahaleye ve onun şekline bağlıdır. Bu nedenle gelecekte yamaç üzerinde oluşabilecek bir hareket engellenmek isteniyorsa mekanik yönden kayan kitle ile kayma yüzeyi altındaki alt tabaka arasında güçlü bir bağ oluşturulmalıdır.

Bitki köklerinin kayma yüzeyi derinliğini aşarak derinlere gitmesi halinde bitki örtüsünün stabilize açısından rolü özellikle kökleriyle zeminin kesme mukavemetini yükseltme görevini üstlenmesi ile başlar. Böylece yamaçlarda amaca uygun bitki örtüsünü seçerek ve kullanarak stabilitenin artırılması sağlanır.

Zemini tutucu ve kesme direncini arttırıcı ağaç türleri arasında sarıçam, karaçam, kayın, göknar, söğüt, akçaağaç, kızılğaç ve titrek kavak bulunur. Bu ağaç türleri özellikle köklerinin zemini ağ şeklinde sarması ile zeminin kesme mukavemetini arttırıcı yönde etkili olurlar (COOK/YOUNGER 1986).



Şekil 7: Bitki örtüsü ve kök derinliğinin kayma olayına etkisi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile yol planlama ve yapım çalışmaları sırasında mühendislik jeolojisinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

Taşıma kabiliyeti düşük olan (killi, siltli) zeminlerde, kuzey ve batı gibi gölgeli ve yarı gölgeli bakımlar ile fazla yağış alıp herhangi bir drenaj sistemine sahip olmayan bölgelerde heyelan meydana gelme ihtimali, diğer bölgelere oranla çok daha fazladır. Zemindeki su miktarı, zeminin taşıma kabiliyeti üzerinde doğrudan etkilidir. Su miktarının artması, zemin taşıma kabiliyetini ve kayma direncini düşürmektedir. Yağış miktarı fazla olan ilkbahar ayları, heyelan üzerinde etkili olmaktadır.

Şev stabilitesi açısından yamaç eğiminin büyük önemi vardır. Yamaç eğiminin artması, yamaç üzerindeki materyali harekete zorlamaktadır. Ayrıca yamaç eğiminin artması büyük kazı ve dolduruları gerektirmektedir. Kazı ve dolduru hacminin artması da hem yol maliyetini arttırmakta, hem de doğaya aşırı bir müdahale olduğu için yamaç dengesini bozmaktadır.

Orman yol ağı planı yapılırken, taşıma kabiliyeti düşük olan zeminler önceden belirlenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Yol planlamasından önce kesinlikle Mühendislik Jeolojisi çalışmaları yapılmalıdır.

Yamaç eğiminin fazla olduğu yerlerde planlama yapılırken, yol güzergahı mümkün olduğunca sıfır hattını takip etmelidir. Dolgulardan kaçınılmalı, kazıya ağırlık verilmelidir. Gerekli yerlerde ise materyal hareketini engellemek için mutlaka istinat duvarları yapılmalıdır.

Zeminin taşıma yeteneği üzerinde olumsuz etkileri bulunan zemin su miktarının, kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu nedenle yerüstü ve yeraltı sularının yola zarar vermeden uzaklaştırılması için iyi bir drenaj sistemi oluşturulmalıdır. Bölgenin yağış durumuna göre gerekli yerlere drenaj sistemleri planlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- ATALAY, F.İ.; BEKAROĞLU, N., 1973: *Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara,*
- BARTON, M.E., 1986: *The Sunken Lanes of Southern England, Engineering Geological Considerations, Planning And Engineering Geology Proceeding of The 22nd Annual Conference of The Engineering Group of The Geological Society, s. 411-417.*
- BAYOĞLU, S., 1968: *Yol İnşaatında Zemin Etüdüleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını Seri B, Cilt XVIII, sayı 1, s. 71-90.*
- BAYOĞLU, S., 1997: *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları, İ.Ü. Yayın No: 3969, Orman Fak. Yayın No: 434, İstanbul.*
- BURROUGHS, E.R.; KING, J.G., 1989: *Reduction Of Soil Erosion On Forest Roads, General Technical Report, US Department Of Agriculture, Forest Service.*
- CLAYTON, J.L., 1983: *Evaluating Slope Stability Prior To Road Construction, Research Paper- Forest Service, No: 307.*
- COOK, J.R.; YOUNGER, J.S., 1986: *The Engineering Geology of Road Projects in North Borneo, Planning And Engineering Geology Proceeding of The 22nd Annual Conference of The Engineering Group of The Geological Society, s. 419-428.*
- ÇAĞLARER, B., 1976: *Dolgularda Temel ve Stabilitate Konuları, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No: 225, Ankara.*
- ÇAĞLARER, B., 1986: *Yol Yapım Tekniği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No: 259, Ankara.*
- DAVIES, T.P.; HUGHES, D.W., 1991: *Planning Phasing And Implementation Of Rock Slope Remedial Works In The Scottish Highlands, Slope Stability Engineering Developments And Applications, s. 149-154, Londra.*
- DÜZGÜN, B.; BOZDAĞ, T.; PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., 1996: *Kaya Şevlerinin Duraylılık Analizlerine Bir Güvenirlik Yaklaşımı, 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 169-180, Ankara.*
- ERDAŞ, O.; ACAR, H.H.; TUNAY, M.; KARAMAN, A., 1995: *Türkiye'de Orman İşçiliği ve Üretim, Orman Yolları, Orman Ürünleri Transportu, Ormanlıkta Mekanizasyon ve Mülkiyet-Kadastro İle İlgili Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Türkiye Ormanlık Raporu, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 48, s. 45-79, Trabzon.*
- ERDAŞ, O., 1997: *Orman Yolları Cilt I, K.T.Ü. Yayın No: 187, Orman Fakültesi Yayın No: 25, Trabzon,*
- ERDAŞ, O., 1978: *Tabii Orman Zeminlerinin Taşıma Kapiliyetinin Zemin Mekaniği Yönünden İncelenmesi ve Bunun Orman Ürünleri Taşımacılığındaki Önemi, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 28, Seri A, Sayı 1, s. 157-171.*
- ERDAŞ, O. 1980: *Heyelan Bölgelerinde Orman Yolu Yapımında Proje ve Uygulama Esasları, K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 3, Sayı 2, s. 163-174.*

- GIANVİLLE, W.H., 1970:(Çeviri: Kumbasar, V., Kumbasar, F. ve Önalp, A.), *Yol Mühendisleri İçin Zemin Mekaniği*, İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı:733, İstanbul.
- GÖRCELİOĞLU, E., 1991: *Bitki Örtüsünün Yamaç ve Şev Stabilesine Etkileri, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, s. 5-21. Trabzon.
- ÖZÇELİK, N.,1982: *Orman Yolu Sanat Yapıları*, İ.Ü. Yayın No:3047, Orman Fakültesi Yayın No:323, İstanbul.
- SEÇKİN, Ö.B. 1984: *Orman Yol Şebekesi ve Yol Aralığı*, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Cilt 34, Seri B, Sayı 2, s. 59-67.
- SONUÇ, T., 1976: *Karayolu Tekniği (Yol Jeotekniği, Yapım Teknikleri)*, Cilt 2, İstanbul.
- ŞENTÜRK, N., 1989: *Yol İnşaatında Zemin Etüdlerinin Önemi*, Or. Müh. Dergisi, Yıl 26, Sayı 11, s. 26-29, Ankara.
- ŞENTÜRK, N., 1992: *Orman Yollarının Planlanmasında Sayısal Verilerden Yararlanma Olanakları*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- TARHAN, F.,1996: *Mühendislik Jeolojisi Prensipleri*, K.T.Ü. Müh. Mim. Fak., Genel Yayın No:145, Fakülte Yayın No: 41, Trabzon.
- TOCHIKI, S.; KAIBORI, M., 1990: *Slope Failures Along The Forest Road By The Storm Rainfall And Their Characteristics*, Memoirs, Hiroshima University, Faculty Of Integrated Arts And Sciences IV, s. 1-18.
- TÜMERKAN, F.C., 1976: *İstinat Duvarları*, Arpac Matbaacılık, İstanbul.
- UMAR, F. ; YAYLA, N., 1994: *Yol İnşaatı*, İ.T.Ü. Rektörlüğü Sayı:1541, İstanbul.
- UTKU, T., 1975: *Teori ve Tatbikatta Heyelanlar*, T.C.K. Genel Müdürlüğü, Ankara.
- WHITLOW,R.,1995:*Basic Soil Mechanics*, 3. Baskı, Londra.